



Thiago Henrique Nogueira Gomes

**Sustentabilidade nas Construções
em
Ambiente Tropical**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Civil – Perfil de Construção

Orientador: Prof. Doutor Miguel P. Amado, FCT-UNL

Júri:

Presidente: Prof.^a Doutora Maria Paulina Faria Rodrigues

Arguente: Prof. Doutor Manuel Correia Guedes

Vogal: Prof. Doutor Miguel Pires Amado



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro de 2012

‘Copyright’ Thiago Henrique Nogueira Gomes, FCT/UNL e UNL

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Um especial agradecimento ao meu orientador, Prof. Doutor Miguel Pires Amado, o qual eu sempre considerei um excelente professor e que me deu a oportunidade de realizar este estudo. Agradeço toda a sua disponibilidade, aconselhamento e conhecimento transmitido.

Gostaria de aqui agradecer a todos aqueles que me acompanharam e apoiaram não só na execução deste trabalho mas durante toda esta caminhada académica. Aos amigos e colegas de curso, os quais prefiro não referir nomes para não cometer nenhuma injustiça, mas tenho a certeza que desempenharam um papel muito importante tanto na minha vida de estudante, quanto na minha vida social. Estes nunca serão esquecidos!

Last but not least, agradeço a minha maravilhosa família, pai, mãe e irmã, pelo incondicional apoio, carinho e ensinamentos que me transmitiram ao longo de toda minha vida.

Resumo

Muitas cidades de clima tropical têm apresentado um elevado crescimento urbano nos últimos anos, situação que conduz ao aumento das preocupações com a sustentabilidade do planeta e da vida no mesmo.

O setor da construção tem, direta ou indiretamente, uma grande responsabilidade pelo elevado impacto ambiental. Todo o ciclo de vida de uma construção consome recursos e contribui para o fenómeno do aquecimento global, desde a fase de extração das suas matérias-primas até a fase de desconstrução ou demolição e eventual deposição de resíduos.

Antes da Revolução Industrial e da globalização dos modelos arquitetónicos, os recursos utilizados nas construções eram essencialmente naturais e provenientes de fontes renováveis alguns deles muito abundantes nas áreas próximas do local da obra. Também a arquitetura dos edifícios era adaptada a região e ao clima local através de conhecimentos empíricos passados de geração à geração. Essa construção tradicional era portanto mais sustentável que a generalidade das edificações atuais, principalmente no que toca ao consumo energético e a produção de resíduos.

A adoção de algumas características construtivas tradicionais num projeto pode contribuir para o atual processo de Desenvolvimento Sustentável que se deseja que ocorra. Neste contexto, a presente dissertação pretende contribuir para que a construção de edifícios seja realizada de forma mais sustentável nos ambientes tropicais através de um estudo de princípios bioclimáticos e sistemas construtivos utilizados nas construções tradicionais da região em que se insere.

Termos chave: Arquitetura Vernacular; Construções Tropicais; Materiais de Construção Tradicionais; Princípios Bioclimáticos; Sustentabilidade.

Abstract

Many cities of tropical climate show high urban growth in recent years who increase the concerns about the sustainability of the Earth and life.

The construction industry has, directly or indirectly, a big environmental impact. The entire life cycle of a building consumes resources and contributes to global warming, i.e. from initial extraction of its raw material to the stage of deconstruction or demolition and eventual deposition.

Before the Industrial Revolution and the architectural globalization, resources used in buildings were essentially natural and derived from renewable or plentiful sources near the construction site. Also the architecture was adapted to the local climate and region through empirical knowledge passed from generation to generation. This traditional construction was therefore more sustainable than most of current buildings, especially with regard to energy consumption and waste production.

The adoption of some traditional construction techniques in a project can work with the current process of Sustainable Development. In this context, this thesis aims to contribute for the construction of more sustainable buildings in tropical areas through the study of bioclimatic principles and construction systems used in traditional buildings of the region.

Keywords: Vernacular Architecture; Tropical Buildings; Traditional Building Materials; Bioclimatic Principles; Sustainability.

ÍNDICE DO TEXTO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Objetivos	2
1.2.	Importância do tema	Erro! Marcador não definido.
1.3.	Metodologia	2
1.4.	Estrutura	3
2.	ESTADO DO CONHECIMENTO	5
2.1.	Sustentabilidade	5
2.1.1.	Conceito	5
2.1.2.	Consumo de recursos e aquecimento global	6
2.1.3.	Construção Sustentável	11
2.2.	Contexto geográfico e clima tropical	15
2.2.1.	Clima tropical	15
2.2.2.	Condições de conforto urbano	18
2.3.	Materiais das Regiões Tropicais	23
2.3.1.	O Bambu	24
2.3.2.	A Madeira	27
2.3.3.	O Colmo	32
2.3.4.	A Terra	34
2.3.5.	A Pedra	39
2.4.	Arquitetura na Região Tropical	40
2.4.1.	África	41
2.4.2.	América	60
2.4.3.	Ásia e Oceânia	73
2.4.4.	Médio Oriente	78
2.5.	Sistemas Construtivos Tradicionais	82
2.5.1.	Paredes	83
2.5.2.	Coberturas	99

3.	ANÁLISE DAS CONSTRUÇÕES TROPICAIS SEGUNDO PRINCÍPIOS BIOCLIMÁTICOS	105
3.1.	Análise urbana.....	105
3.2.	Análise do edificado	110
3.3.	Síntese das vantagens e desvantagens das construções tradicionais em climas tropicais.	127
4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	147
4.1.	Conclusão	147
4.2.	Desenvolvimentos futuros	153
	BIBLIOGRAFIA	155

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 – RECURSOS GLOBAIS UTILIZADOS NAS EDIFICAÇÕES.....	8
QUADRO 2 – POLUIÇÃO GLOBAL RELACIONADA COM A EDIFICAÇÃO.....	9
QUADRO 3 – OS 7 PRINCÍPIOS DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL.....	11
QUADRO 4 – IMPACTO DA CONSTRUÇÃO CIVIL E DO USO DOS EDIFÍCIOS.	13
QUADRO 5 – TABELA ADAPTADA DE BUSTOS ROMERO.....	17
QUADRO 6 – APLICAÇÕES NA ENGENHARIA CIVIL.	27
QUADRO 7 – CLASSIFICAÇÃO DAS CONSTRUÇÕES.	42
QUADRO 8 – SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ANALISADAS POR LOURENÇO (2002).	87
QUADRO 9 – VANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO.	96
QUADRO 10 – DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA MADEIRA NA CONSTRUÇÃO.	96
QUADRO 11 – ELEMENTOS DO CLIMA A SEREM CONTROLADOS, BUSTOS ROMERO.	111
QUADRO 12 – PROPRIEDADES DO ALUMÍNIO COM DIFERENTES COLORAÇÕES. ADAPTADO DE “TROPICAL SUSTAINABLE ARCHITECTURE”.	122
QUADRO 13 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS MAIS EFICIENTES. ADAPTADO DE “MANUAL DO ARQUITETO DESCALÇO”	126
QUADRO 14 – SÍNTESE DAS CARACTERÍSTICAS DAS CONSTRUÇÕES TRADICIONAIS.....	135
QUADRO 15 – SÍNTESE DOS CONTRIBUTOS QUE AS CONSTRUÇÕES TRADICIONAIS PODEM OFERECER PARA A SUSTENTABILIDADE.	141

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – CRESCIMENTO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL EM REGIÕES DESENVOLVIDAS E EM REGIÕES EM DESENVOLVIMENTO. 1950-2050.....	1
FIGURA 2 – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	6
FIGURA 3 – EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO, 1990-2008.....	7
FIGURA 4 – CONSUMO ENERGÉTICO MUNDIAL, 1990-2035.....	8
FIGURA 5 – CONGESTIONAMENTO DE TRÁFEGO URBANO: MAL PLANEAMENTO.....	9
FIGURA 6 – EXTRAÇÃO GLOBAL DE MATERIAIS EM MIL MILHÕES DE TONELADAS, 1900-2005.....	10
FIGURA 7 – R's DA SUSTENTABILIDADE.....	10
FIGURA 8 – SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO.....	12
FIGURA 9 – O DOMÍNIO CLIMÁTICO TROPICAL.....	16
FIGURA 10 – A FIGURA ACIMA ESQUEMATIZA OS GANHOS DE CALOR.....	19
FIGURA 11 – DIAGRAMA PSICROMÉTRICO – CIDADE DE LUANDA, ANGOLA.....	20
FIGURA 12 – A UTILIZAÇÃO DO AR CONDICIONADO PODE SER MINIMIZADA /EVITADA.....	21
FIGURA 13 – ESQUEMA DO EFEITO ILHA-DE-CALOR EM SINGAPURA.....	22
FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO DO BAMBU PELO MUNDO.....	24
FIGURA 15 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO BAMBU PELO MUNDO.....	24
FIGURA 16 – BOSQUE DE BAMBU.....	25
FIGURA 17 – PONTE COM ESTRUTURA EM BAMBU.....	26
FIGURA 18 – OBRA DO ARQUITETO OSCAR HIDALGO EM 1962 NA COLÔMBIA.....	26
FIGURA 19 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DAS FLORESTAS PELO MUNDO.....	28
FIGURA 20 – DOMÍNIO FLORESTAL.....	28
FIGURA 21 – FLORESTAS TROPICAIS PELO MUNDO.....	28
FIGURA 22 – ALTERAÇÃO DAS ÁREAS FLORESTAIS POR CONTINENTE, 1990-2000 E 2000-2010.....	29
FIGURA 23 – CONSUMO DOMÉSTICO DE MADEIRA TROPICAIS (000M³), ITTO 1996-2008.....	30
FIGURA 24 – CONSUMO DOMÉSTICO DE MADEIRAS TROPICAIS (000M³). TOP20, ITTO 2008.....	30
FIGURA 25 – COLHEITA DA PALHA.....	32
FIGURA 26 – ESTRUTURA DE UMA COBERTURA EM COLMO.....	34
FIGURA 27 – USO MISTO DE CHAPA METÁLICA NA COBERTURA.....	34
FIGURA 28 – EDIFÍCIOS EM ADOBE NO SHIBAM, IÊMEN.....	35
FIGURA 29 – DISTRIBUIÇÃO DAS CONSTRUÇÕES EM TERRA PELO MUNDO.....	35
FIGURA 30 – ÁREAS ONDE O SOLO É MAIS ADEQUADO ÀS CONSTRUÇÕES EM TERRA.....	36
FIGURA 31 – TÉCNICAS CONSTRUTIVAS EM TERRA.....	36
FIGURA 32 – CONSTRUÇÃO DE UMA.....	37
FIGURA 33 – PRODUÇÃO MECÂNICA.....	37
FIGURA 34 – COMPACTAÇÃO MANUAL TRADICIONAL DA TAIPA.....	38
FIGURA 35 – CONSTRUÇÃO DE ALVENARIA COM RECURSO A BTC.....	39
FIGURA 36 – EDIFICAÇÕES EM TERRA EM TAOS, NOVO MÉXICO.....	39
FIGURA 37 – EDIFÍCIOS CONSTRUÍDOS EM TERRA NA LÍBIA.....	43
FIGURA 38 – ABERTURA NAS CHAMINÉS PARA EVACUAR O AR QUENTE DO INTERIOR.....	43
FIGURA 39 – ALDEIA NO MARROCOS.....	43
FIGURA 40 – RUAS SOMBREADAS E ESTREITAS EM MARROCOS.....	44
FIGURA 41 – HABITAÇÃO VERNACULAR CAIADA DE BRANCO EM CABO VERDE.....	44
FIGURA 42 – HABITAÇÃO VERNACULAR EM CABO VERDE: PEDRA E COBERTURA DE COLMO.....	45
FIGURA 43 – EDIFÍCIO DA ÉPOCA COLONIAL EM CABO VERDE.....	45
FIGURA 44 – Pousada projetada por Álvaro Siza na ilha de Santiago, Cabo Verde.....	47
FIGURA 45 – HABITAÇÃO TRADICIONAL DE GUINÉ-BISSAU.....	48
FIGURA 46 – HABITAÇÃO COLONIAL EM GUINÉ-BISSAU: USO DA TELHA CERÂMICA.....	49
FIGURA 47 – CONSTRUÇÃO PARA ECOTURISMO EM GUINÉ-BISSAU.....	49

FIGURA 48 – CLASSIFICAÇÃO DAS TIPOLOGIAS ARQUITETÓNICAS DE GUINÉ-BISSAU.	50
FIGURA 49 – ESPLANADA DE POSSOLO EM GUINÉ-BISSAU.	50
FIGURA 50 – CONSTRUÇÃO EM TERRA EM BURKINA FASO.....	51
FIGURA 51 – HABITAÇÃO EM TERRA COM COBERTURA DE COLMO, NO SENEGAL.	51
FIGURA 52 – EXEMPLO DE ARQUITETURA VERNACULAR EM ANGOLA.	52
FIGURA 53 – BAIRRO “INFORMAL” EM ANGOLA.	53
FIGURA 54 – HABITAÇÃO VERNACULAR TÍPICA DA ZÂMBIA.	53
FIGURA 55 – HABITAÇÃO VERNACULAR NO ZIMBABWE: PAREDES EM TERRA E COBERTURA EM COLMO.	54
FIGURA 56 – HABITAÇÃO VERNACULAR NO ZIMBABWE: PAREDES EM TERRA E COBERTURA EM COLMO.	54
FIGURA 57 – CONSTRUÇÃO EM FORMA CIRCULAR EM CLIMA QUENTE E SECO NA ÁFRICA.....	54
FIGURA 58 – ARQUITETURA VERNACULAR EM MOÇAMBIQUE.	54
FIGURA 59 – ARQUITETURA VERNACULAR EM MOÇAMBIQUE: SOMBREAMENTO.	55
FIGURA 60 – HABITAÇÃO DE BAIXA RENDA NA PERIDIERIA DE MOÇAMBIQUE.	56
FIGURA 61 – VISTA AÉREA DE S. TOMÉ EM 1960.	57
FIGURA 62 – EDIFÍCIO EM LUANDA NO FINAL DA DÉCADA DE 50.	59
FIGURA 63 – CONSTRUÇÕES DOS ÍNDIOS SUL-AMERICANOS: DISPOSTAS DE MODO A FORMAR UMA PRAÇA CENTRAL.	61
FIGURA 64 – EXEMPLOS DE OCAS DA TRIBO INDÍGENA BRASILEIRA TIRIYÓ.	61
FIGURA 65 – USO DE MATERIAIS LEVES NA AMÉRICA DO SUL.	62
FIGURA 66 – INTERIOR DE UMA CASA INDÍGENA DO BRASIL.	62
FIGURA 67 – EXEMPLOS DE AMARRAÇÃO COM CIPÓ.	63
FIGURA 68 – HABITAÇÃO VERNACULAR INDÍGENA NO BRASIL.	63
FIGURA 69 – HABITAÇÃO VERNACULAR NA VENEZUELA:.....	63
FIGURA 70 – ESQUEMAS DE HABITAÇÃO VERNACULAR INDÍGENA NA VENEZUELA.	63
FIGURA 71 – HABITAÇÃO VERNACULAR INDÍGENA NA GUIANA FRANCESA: SOBRELEVAÇÃO.	64
FIGURA 72 – ARQUITETURA COLONIAL NO CHILE.	64
FIGURA 73 – CONSTRUÇÕES COLONIAIS EM MINAS GERAIS, BRASIL.....	64
FIGURA 74 – ARQUITETURA COLONIAL EM GEORGETOWN, NA GUIANA.	65
FIGURA 75 – CONSTRUÇÕES COLONIAIS EM SALVADOR, BRASIL.	66
FIGURA 76 – CRESCIMENTO VERTICAL (CIDADE DE RECIFE, BRASIL).	66
FIGURA 77 – EDIFÍCIO SEDE DO MINISTÉRIO DA SAÚDE PÚBLICA NO RIO DE JANEIRO.	67
FIGURA 78 – ESQUEMA DO <i>BRISE-SOLEILS</i>	67
FIGURA 79 – FAVELA DA ROCINHA, RIO DE JANEIRO.	67
FIGURA 80 – CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL NO ÂMBITO DO PROJETO “TACUARA” NO BRASIL.	68
FIGURA 81 – CONSTRUÇÕES VERNACULARES NAS TERRAS ALTAS DO PERU.	69
FIGURA 82 – ARQUITETURA VERNACULAR NAS BAHAMAS.	70
FIGURA 83 – REPRESENTAÇÃO DA ÉPOCA COLONIAL NA JAMAICA, ILHA DE COLONIZAÇÃO INGLESA.	71
FIGURA 84 – TEMPLO MAIA DE KUKULCÁN, NO MÉXICO.	72
FIGURA 85 – CASA EM TAIPA NA GUATEMALA.	72
FIGURA 86 – EXEMPLOS DE CONSTRUÇÕES VERNACULARES NO SUDESTE ASIÁTICO.	73
FIGURA 87 – A SOBRELEVAÇÃO FUNCIONANDO COMO PROTEÇÃO DA CONSTRUÇÃO CONTRA ÀS ÁGUAS.	74
FIGURA 88 – HABITAÇÃO TRADICIONAL DAS ILHAS SALOMÃO.....	74
FIGURA 89 – FORMAS TÍPICAS DE COBERTURAS TRADICIONAIS ENCONTRADAS NA INDONÉSIA.	74
FIGURA 90 – CONSTRUÇÃO TRADICIONAL NA INDONÉSIA, COM MADEIRA TALHADA.	75
FIGURA 91 – VÃOS ENTRE ELEMENTOS CONSTRUTIVOS DE MADEIRA PROPORCIONAM VENTILAÇÃO E ALGUMA ILUMINAÇÃO.....	75
FIGURA 92 – PREOCUPAÇÃO COM A VENTILAÇÃO, ILHA NIAS NA INDONÉSIA.	75
FIGURA 93 – CONSTRUÇÃO <i>SAO PU’U</i> EM BENA VILLAGE, INDONÉSIA.	76
FIGURA 94 – CASA TRADICIONAL DA ETNIA BATAK, NA INDONÉSIA.....	76
FIGURA 95 – DESENHO DA CASA TRADICIONAL BATAK, NA INDONÉSIA.....	76
FIGURA 96 – PERSPETIVA DE UMA HABITAÇÃO TRADICIONAL DA MICRONÉSIA.....	77
FIGURA 97 – CONSTRUÇÕES EM ADOBE NO IÉMEN.	79
FIGURA 98 – SOMBREAMENTO DAS JANELAS NO IÉMEN.....	79

FIGURA 99 – EDIFÍCIOS EM ADOBE NO SHIBAM, IÊMEN.	80
FIGURA 100 – TORRES PARA CAPTAÇÃO DO VENTO NO IRÃO.	80
FIGURA 101 – PÁTIOS INTERNOS COM VEGETAÇÃO E COM PISCINA, RESPETIVAMENTE.	81
FIGURA 102 – TIJOLOS DE BARRO CONTINUAM SENDO UTILIZADOS DE FORMA TRADICIONAL NAS CONSTRUÇÕES NO IÊMEN.	81
FIGURA 103 – CARBONO INCORPORADO EM MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (KG CO ₂ /TONELADA).	86
FIGURA 104 – CONSUMO ENERGÉTICO (MJ) DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS ANALISADAS POR LOURENÇO (2002).	87
FIGURA 105 – FABRICO DE BLOCOS DE TERRA NO EGITO COM APENAS UMA PEQUENA FORMA DE MADEIRA ..	87
FIGURA 106 – ABSORÇÃO DE ÁGUA PELOS MATERIAIS (G/M ²)/HORA.	89
FIGURA 107 – QUADRO COMPARATIVO DE CAPACIDADE DE RETENÇÃO DE CALOR E DE ISOLAMENTO TÉRMICO	89
FIGURA 108 – PAREDES EM TERRA SOBRE ENGRADADO DE MADEIRA.	90
FIGURA 109 – CONSTRUÇÃO ATUAL UTILIZANDO SACOS CONTENDO TERRA.	91
FIGURA 110 – SOLUÇÃO CONSTRUTIVA TRADICIONAL UTILIZANDO MADEIRA, NAS FILIPINAS.	92
FIGURA 111 – COMPARAÇÃO NO FABRICO DE MADEIRA, AÇO E BETÃO.	92
FIGURA 112 – CONSUMO DE ENERGIA (RELATIVO À MADEIRA) PARA PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.	93
FIGURA 113 – EDIFÍCIO EM BERMUDA, ONDE O PISO TÉRREO UTILIZA A TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO E O SEGUNDO PISO UTILIZA A MADEIRA.	97
FIGURA 114 – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO UTILIZANDO GARRAFAS PET AMARRADAS COM FIOS METÁLICOS	99
FIGURA 115 – DURABILIDADE DE DIFERENTES MATÉRIAS-PRIMAS.	100
FIGURA 116 – CONSTRUÇÃO DE UMA COBERTURA COM ESTRUTURA DE MADEIRA INDEPENDENTE DAS RESTANTES PARTES DA CONSTRUÇÃO.	101
FIGURA 117 – CONSTRUÇÃO TRADICIONAL EM BANGLADESH, CLIMA TROPICAL HÚMIDO.	102
FIGURA 118 – CONSTRUÇÃO DE COBERTURA EM COLMO, ASSENTE SOBRE PAREDES DE TERRA.	102
FIGURA 119 – EXEMPLO DE SISTEMA CONSTRUTIVO TRADICIONAL UTILIZANDO COLMO E BAMBU.	102
FIGURA 120 – HABITAÇÃO TRADICIONAL, COM SUBSTITUIÇÃO DO TELHADO TRADICIONAL POR CHAPA METÁLICA INDUSTRIAL.	103
FIGURA 121 – SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM TERRA.	104
FIGURA 122 – IDEALIZAÇÃO URBANA PARA CLIMAS TROPICAIS HÚMIDOS. ADAPTADA DE “MANUAL DO ARQUITETO DESCALÇO”.	106
FIGURA 123 – ALTURA E LARGURA DE UM “CANYON” URBANO.	107
FIGURA 124 – IDEALIZAÇÃO URBANO PARA CLIMAS TROPICAIS SECOS. ADAPTADO DE “MANUAL DO ARQUITETO DESCALÇO”.	107
FIGURA 125 – LOTEAMENTO ADEQUADO PARA CLIMA TROPICAL HÚMIDO (À ESQUERDA) E ADEQUADO PARA CLIMA TROPICAL SECO (À DIREITA).	108
FIGURA 126 – VENTILAÇÃO URBANA.	108
FIGURA 127 – TRAÇADO URBANO PRIVILEGIANDO A BRISA DO MAR E EVITANDO O AR QUENTE CONTINENTAL.	109
FIGURA 128 – OTIMIZAÇÃO DO SOMBREAMENTO NAS CONSTRUÇÕES EM ENCOSTA.	109
FIGURA 129 – ESQUEMA DE POSICIONAMENTO DO EDIFICADO PRIVILEGIANDO OS VENTOS DOMINANTES. ...	109
FIGURA 130 – EDIFÍCIO COM ARQUITETURA IDEAL PARA AS CONDICIONANTES CLIMÁTICAS EM CLIMA TROPICAL HÚMIDO.	112
FIGURA 131 – EDIFÍCIO COM ARQUITETURA IDEAL PARA AS CONDICIONANTES CLIMÁTICAS EM CLIMA TROPICAL SECO.	112
FIGURA 132 – GEMINAÇÃO DE EDIFÍCIOS MINIMIZA O RISCO DE SOBREAQUECIMENTO POR ABSORÇÃO SOLAR.	113
FIGURA 133 – EXPANSÃO VERTICAL INADEQUADA.	113
FIGURA 134 – COBERTURA ADEQUADA PARA CLIMAS TROPICAIS HÚMIDOS.	114
FIGURA 135 – PROJETO INADEQUADO, O AR QUENTE NÃO ENCONTRA UMA ABERTURA E É ACUMULADO NO TETO DA HABITAÇÃO.	114

FIGURA 136 – PROJETO ADEQUADO, O AR QUENTE DEVE SAIR PELAS ABERTURAS NO TETO DA HABITAÇÃO.	114
FIGURA 137 – ESQUEMA DE VENTILAÇÃO POR “EFEITO CHAMINÉ”.	116
FIGURA 138 – A FIGURA DA ESQUERDA APRESENTA VENTILAÇÃO ADEQUADA PARA CLIMA TROPICAL HÚMIDO, E A FIGURA DA DIREITA É ADEQUADA PARA CLIMA TROPICAL SECO.	117
FIGURA 139 – CAPTADOR DE VENTILAÇÃO NA COBERTURA.	117
FIGURA 140 – ESQUEMA DE VENTILAÇÃO PELO SOLO.	118
FIGURA 141 – ESQUEMA DE UM EDIFÍCIO VENTILADO PELA COBERTURA.	118
FIGURA 142 – ESQUEMA DE REFLEXÃO SOLAR E VENTILAÇÃO INADEQUADOS.	119
FIGURA 143 – ESQUEMA DE REFLEXÃO SOLAR E VENTILAÇÃO ADEQUADOS.	119
FIGURA 144 – ESQUEMA ADEQUADO DE POSICIONAMENTO DO EDIFÍCIO EM RELAÇÃO A ORIENTAÇÃO SOLAR.	120
FIGURA 145 – GRELHAS DE FACHADA APRESENTAM VANTAGENS E PROPORCIONAM SOMBREAMENTO, SEGURANÇA E VENTILAÇÃO NATURAL.	120
FIGURA 146 – ESQUEMA DE SOMBREAMENTO INTRODUZIDO PELA COBERTURA.	121
FIGURA 147 – ESQUEMA DE SOMBREAMENTO INTRODUZIDO PELA VEGETAÇÃO.	121
FIGURA 148 – ESQUEMA DE REFLEXÃO DA RADIAÇÃO SOLAR PELO PAVIMENTO.	121
FIGURA 149 – EDIFÍCIO TODO PINTADO DE BRANCO EM MOÇAMBIQUE.	122
FIGURA 150 – INTEGRAÇÃO DA CONSTRUÇÃO COM O MEIO AMBIENTE ENVOLVENTE. APROVEITAMENTO DO EFEITO BENÉFICO DE MICROCLIMA PROPORCIONADO PELA VEGETAÇÃO EM CLIMA TROPICAL HÚMIDO.	123
FIGURA 151 – EDIFÍCIO EM SINGAPURA CONSTRUÍDO EM 1970.	124
FIGURA 152 – EDIFÍCIOS COM FACHADAS DE VIDRO EM LUXEMBURGO. ADEQUADOS A CLIMAS FRIOS, INADEQUADOS A CLIMAS QUENTES.	124
FIGURA 153 – JANELA EFICIENTE PARA SOMBREAMENTO, VENTILAÇÃO, PROTEÇÃO À CHUVA E SEGURANÇA	125
FIGURA 154 – EXEMPLOS TÍPICOS DE SOMBREAMENTO EXTERNO PARA JANELAS.	125
FIGURA 155 – PROTEÇÕES SOLARES EXTERNAS MÓVEIS.	125
FIGURA 156 – PRESSÃO URBANA, ELEVADA DENSIDADE POPULACIONAL.	128
FIGURA 157 – EDIFÍCIO COM VARANDA NO RIO DE JANEIRO (CLIMA TROPICAL HÚMIDO).	132

1. INTRODUÇÃO

Desde sempre a necessidade do homem proteger-se das intempéries levou a criação de locais habitáveis utilizando materiais disponíveis no meio ambiente. Nos primórdios, a inexistência de tecnologias sofisticadas obrigou a procura de técnicas construtivas e arquitetónicas adaptadas ao meio em que se insere. Conforme a evolução, passou-se a existir materiais mais elaborados, e muitas vezes vindos de outras regiões distantes. Tem-se então a globalização que cria padrões de edifícios que muitas vezes desconsideram as questões climáticas e ambientais locais. A criação de excesso de janelas envidraçadas em países quentes, por exemplo, gera verdadeiras estufas pelo excesso de insolação, o que acaba por ser corrigido por sistemas de refrigeração e iluminação artificial caros e que poderiam ser evitados.

A escolha do tema desta dissertação foi tida com base na crescente necessidade de adotar medidas sustentáveis nas construções em regiões tropicais.

Os países de clima tropical ocupam 55.000 Km² de território, constituindo cerca de 40% da área da superfície terrestre, e suas populações apresentam considerável crescimento, contabilizando atualmente cerca de 40% da população mundial [1]. Na atualidade, o emergente desenvolvimento económico de alguns desses países leva o sector da construção apresentar considerável crescimento, por exemplo, no Brasil, na Angola e na Índia. É precisamente nos países em via de desenvolvimento, onde o crescimento populacional e económico apresenta elevada subida, que acontecerá o maior aumento de emissões de CO₂ (dióxido de carbono).

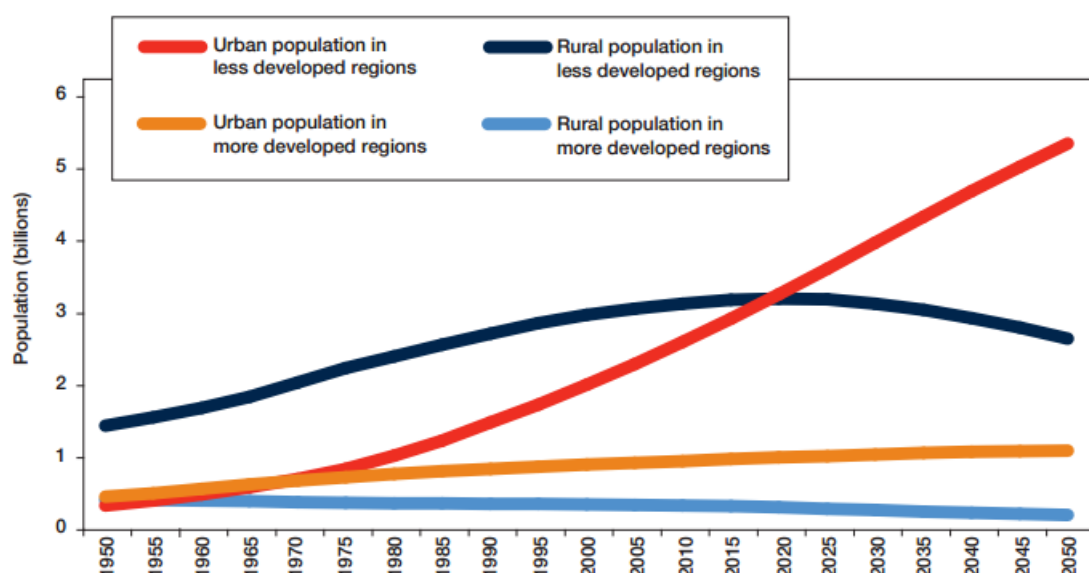


Figura 1 – Crescimento da população urbana e rural em regiões desenvolvidas e em regiões em desenvolvimento. 1950-2050 [2]

Indesejavelmente, muitos dos projetos realizados resultam ainda em construções de baixas durabilidade e qualidade, conforto interno inadequado ao clima, e consequentemente altos custos de operação e manutenção. É essencial reverter essa realidade através do incentivo de práticas

sustentáveis, e sendo necessário o comprometimento e a consciência ecológica estabelecidos entre o consumidor, o profissional e os fornecedores.

É importante referenciar também que muitos dos países tropicais em via de desenvolvimento têm grandes limitações tecnológicas e técnicas. Por exemplo, Moçambique, este não produz grande parte dos materiais e equipamentos de construção utilizados, não tem uma adequada rede de estradas e ferrovias e tem uma rede de comercialização de materiais de construção mal distribuída geograficamente [3]. Tais fatores agravam muito os custos de construção que já são elevados, o que proporciona a proliferação de construções baratas, maioritariamente de má qualidade.

O crescente êxodo rural das populações mais pobres para os centros urbanos também é um fator que contribui para a irregular expansão e ocupação urbana com habitações de baixa qualidade. Portanto, o impacto causado pela construção civil é provavelmente ainda maior em países em desenvolvimento do que em países desenvolvidos, mais industrializados e com melhores infraestruturas.

1.1. Objetivos

A presente dissertação tem como objetivo geral contribuir para o conhecimento de medidas sustentáveis para construções em ambientes tropicais. Procurar-se-á reconhecer a necessidade de introdução de soluções alternativas mais sustentáveis nestas edificações para contribuir com um desenvolvimento de forma positiva no contexto económico, social e ambiental.

Pretende-se, como objetivo principal, analisar sistemas construtivos e materiais de construção no contexto das construções tropicais, de forma a contribuir para o estudo de identificação do sistema construtivo mais sustentável nestas regiões. Essa abordagem prende-se com a importância da escolha dos materiais de construção para cada contexto específico.

Além dos materiais de construção mais adequados, outras medidas como a adaptação à forma, estratégias arquitetónicas e tecnologias que permitem maior poupança energética para as construções com necessidades de arrefecimento serão abordadas ao longo da dissertação. Pretende-se citar vantagens sustentáveis com a adoção dessas medidas, reunindo algumas recomendações de boas práticas na construção de edifícios que se considerem essenciais no caminho para a sustentabilidade no contexto tropical.

1.2. Metodologia

Esta dissertação incide sobre o tema construção sustentável em climas tropicais. Estes são climas quentes, onde edifícios necessitam de estratégias para arrefecimento e para diminuir os ganhos de calor, de modo a proporcionar o bem-estar dos ocupantes.

Antes da existência de meios mecânicos de arrefecimento, as construções tradicionais adaptavam-se ao clima com estratégias passivas, as quais conseguiam proporcionar o conforto ambiental sem consumo energético significativo. Como uma das preocupações do desenvolvimento sustentável é a redução dos consumos, materiais e energéticos, procurar-se-á encontrar soluções alternativas para o futuro da construção civil a analisar as construções vernaculares nos contextos bioclimático e materiais utilizados.

Para alcançar objetivo, uma questão relevante é: Que índices de conforto e padrões ecológicos são sustentáveis para as condições e estilos de vida das regiões tropicais? Outra questão relevante é: Métodos e recursos tradicionais de construção podem ser adaptados ao desenvolvimento sustentável contemporâneo? As respostas a essas e outras questões serão abordadas ao longo desta dissertação.

Todo o trabalho de investigação realizado para esta tese corresponde a uma ampla pesquisa bibliográfica em várias áreas de interesse para o tema. A bibliografia utilizada contempla livros, artigos, elementos de apoio teóricos para disciplinas universitárias, trabalhos académicos realizados anteriormente, bem como fontes disponíveis na internet. Toda a informação aqui referida está indicada com a respetiva bibliografia de fontes fiáveis e credíveis.

1.3. Estrutura

O trabalho encontra-se dividido em diferentes capítulos e subcapítulos devidamente estruturados, cada um englobando uma temática própria. Apesar da diversidade de temáticas abordadas, toda a dissertação está disposta de forma a proporcionar uma leitura coerente e contínua, havendo inter-relacionamento entre os capítulos.

Numa primeira parte realiza-se um enquadramento com objetivo de ajudar o leitor a inteirar-se do tema central do trabalho. A informação apresentada fundamenta-se num trabalho de pesquisa teórico, referenciado em publicações de arquitetos, engenheiros e profissionais do ramo da construção. Posteriormente apresenta-se desenvolvimentos e conclusões sobre tema.

No primeiro capítulo (*Capítulo I – Introdução*) faz-se uma introdução ao tema, descrevendo a importância do tema escolhido, assim como os objetivos pretendidos, a metodologia e a estrutura da dissertação.

O segundo capítulo (*Capítulo II – Estado de Referência*) é o mais extenso. Este engloba as bases do trabalho, apresentando:

- A introdução à Sustentabilidade e à necessidade do Desenvolvimento Sustentável;
- O clima tropical e as suas características;
- A questão do conforto térmico;
- Os principais materiais de construção tradicionais das regiões tropicais;
- A arquitetura tropical dividida por continentes;

- Os sistemas construtivos utilizados tradicionalmente nos Trópicos.

No terceiro capítulo (*Capítulo III – Análise das construções tropicais segundo princípios bioclimáticos*) faz-se uma análise bioclimática adequada para as construções tropicais com base em informação obtida a partir de fontes credíveis e fiáveis. Este estudo de boas práticas é feito em escala macro (análise urbana) e em escala micro (análise do edificado). Procura-se também explicar, com conhecimento científico, algumas adaptações feitas empiricamente nas construções tradicionais. Neste capítulo desenvolve-se um quadro que sintetiza as vantagens e desvantagens das construções tradicionais em climas tropicais.

Por fim, no quarto capítulo (*Capítulo IV – Considerações finais*) apresenta-se as considerações finais da dissertação: conclusões atingidas e recomendações para futuras investigações que possam complementar este trabalho.

2. ESTADO DO CONHECIMENTO

2.1. Sustentabilidade

2.1.1. Conceito

Sustentabilidade, em inglês “*Sustainable*”, é uma palavra derivada do verbo latim “*Sustinere*” que descreve relações que podem ser mantidas por um longo tempo ou por um tempo indefinido [4]. É um conceito complexo, com carácter económico, ecológico e social.

Não foi na arquitetura ou na construção civil que o termo sustentabilidade foi utilizado pela primeira vez. O desenvolvimento sustentável foi primeiramente divulgado na publicação *World Conservation Strategy*, publicado em 1980 pela *World Conservation Union* (IUCN). Desde a década de 1980 tem sido introduzido nas áreas económicas, como referência para um desenvolvimento económico que tenha preocupação em questões ambientais. Mais tarde esse conceito estendeu-se para diversas indústrias, como a química, a mecânica e a agricultura. A indústria da construção civil teve uma preocupação tardia com a sustentabilidade [4].

No relatório *Our common future*, conhecido como *relatório de Brundtland* (1987), surge consignada a expressão “desenvolvimento sustentável”, como aquele que permite “satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades”. Esse relatório, elaborado pela *Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento*, faz parte de uma série de iniciativas que apresentam uma visão crítica em relação ao modelo de desenvolvimento adotado [5],[6].

A definição de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável tem evoluído ao longo de diversos congressos mundiais. Em 1992, realizou-se a *Conferência das Nações Unidas sobre Ambiente e Desenvolvimento*, no Rio de Janeiro, evento importante que reuniu mais de 170 delegações governamentais propondo colocar as nações no rumo do desenvolvimento sustentável, aprovando metas a cumprir, bem como a *Agenda 21*.

A *Agenda 21* é um plano normativo para o desenvolvimento sustentável e inclui instruções para a arquitetura sustentável. Como pontos-chave, tem-se: o uso de tecnologias e materiais locais; redução de resíduos; desenvolvimento e conhecimento de impactos ambientais dos edifícios; ajuda na autoconstrução de habitações para pessoas carenciadas; entre outros.

Segundo Peneda (2008), o desenvolvimento sustentável é um processo de mudança, a partir do qual a exploração de recursos, o direccionamento dos investimentos, o desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional vão entrar em harmonia pela busca de aumentar continuamente as potencialidades de satisfazer necessidades e expectativas humanas.

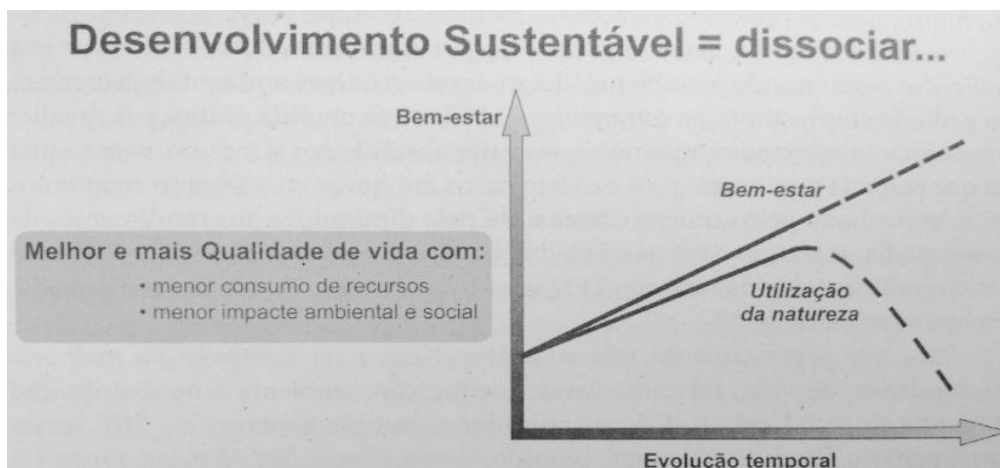


Figura 2 – Desenvolvimento Sustentável [7]

O conceito mais genérico do termo sustentabilidade passa pela busca de soluções e estratégias que permitam a eficiência, o conforto e a continuidade do desenvolvimento das sociedades humanas, sem que para isso seja necessário prejudicar o ecossistema e as gerações futuras. Os principais fatores para alcançar o desenvolvimento sustentável são: educação, legislação, tributação, eficiência profissional, benefícios empresariais, imagem e reputação [8].

É consensual que para haver desenvolvimento sustentável é necessário haver uma reestruturação da relação entre os seres humanos e as suas necessidades e o meio ambiente. Existe porém divergências de opinião sobre o que é mais importante: o meio ambiente ou satisfazer as necessidades humanas.

Nos anos 90 do século XX, tornou-se comum que o desenvolvimento sustentável deveria ter três pilares: o ambiental, o económico e o social. Os valores ambientais prendem-se com a sustentabilidade de recursos e preservação ambiental, os valores económicos estão relacionados com a satisfação das necessidades humanas e a eficiência económica, e os sociais dizem respeito a justiça distributiva, o combate a pobreza e exclusão social [9]. Alguns autores ainda referem no quarto pilar da sustentabilidade: o cultural. Este pilar refere a necessidade de promover a identidade cultural nas diversas regiões, preservando raízes históricas.

2.1.2. Consumo de recursos e aquecimento global

As alterações climáticas são uma das maiores ameaças da atualidade e um dos maiores desafios para a humanidade. Os recursos são finitos e a ação humana polui tudo numa lógica de devastação sem paralelo. Então, como é possível reduzir o efeito de ilha de calor? Como pode o consumo energético, as emissões de CO₂ e a poluição do ar serem reduzidas?

“Nos últimos 50 anos, a expectativa média de vida cresceu de 46 para 64 anos e a diferença de longevidade média entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento diminuiu de 26 para 12 anos. Quanto mais vivemos, mais consumimos e, em idades mais avançadas, maior a nossa dependência de ar condicionado, iluminação e transporte.” [8].

Algumas cidades estão se tornando mais e mais quentes devido ao aquecimento global, muito devido a falta de adequadas políticas de desenvolvimento urbano e da indústria de construção nos anos passados. O aumento da população urbana, a diminuição de espaços verdes, a criação de barreiras impermeáveis no solo e a ineficiência energética da construção têm causado sérios problemas climáticos. Porém, aspetos ambientais ainda têm sido os de menor importância para os governos, uma vez que não trazem retorno direto ao investimento a se fazer [4].

A queima de combustíveis fósseis para produção de energia tem provocado uma grande emissão de poluentes para a atmosfera. Em 2001, conclusões do Terceiro Relatório de Avaliação do IPCC, revelaram que a maior parte do aquecimento global observado nos últimos 50 anos deve-se a emissões para a atmosfera de *Gases com Efeito de Estufa* (GEE) provocados pelas atividades humanas [9]. Os gases GEE que mais têm aumentado de concentração são o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O).

O número de habitantes no mundo durante a Revolução Industrial, 1000 milhões de habitantes, não era significativo para provocar danos expressivos ao meio ambiente, porém a população mundial cresceu exponencialmente (ao ritmo de 250 000 pessoas/dia) e com padrões tecnológicos e de vida cada vez mais desenvolvidos e exigentes, o que torna essa situação mais dramática [4]. No início do século XVIII, o nível de concentração de CO₂ era de 280 ppm, hoje em dia já é de 430 ppm, com taxa de crescimento superior a 2 ppm/ano. Mantendo o crescimento atual, isso implicaria numa concentração de CO₂ de 550 ppm no ano de 2050 [6],[10].

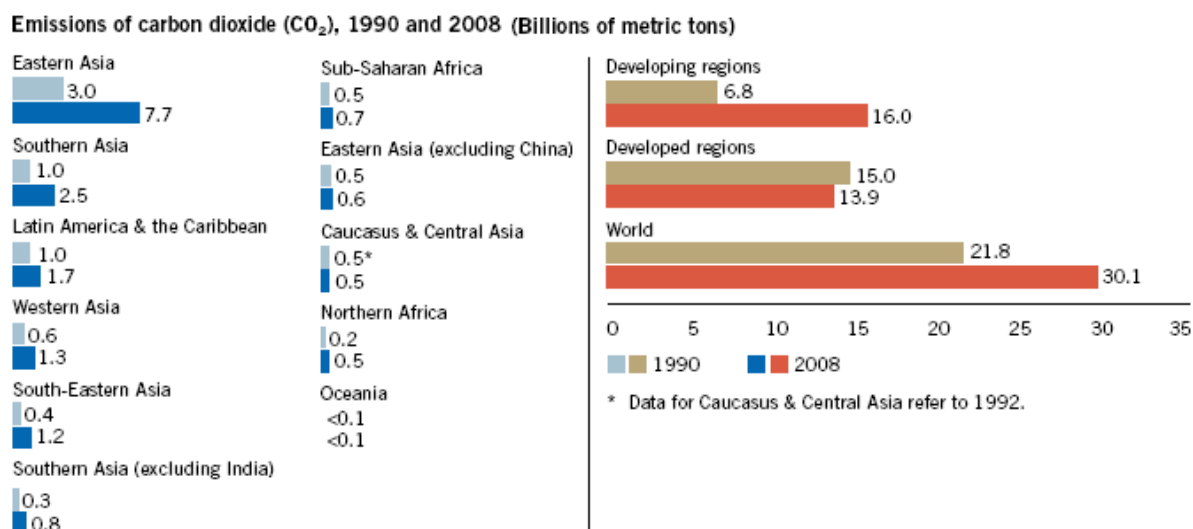


Figura 3 – Emissões de dióxido de carbono, 1990-2008 [11]

Os primeiros sinais do aquecimento global, isto é, o aumento da temperatura média do ar, foram dados há mais de 110 anos pelo químico sueco Arrhenius (1896), o qual previu que o aumento das emissões de CO₂ pelas atividades humanas iria provocar tal fenómeno. Anos depois, em 1938, Guy Callendar alertou para o fato de o aquecimento global já estar em curso [9]. Em 2003, a *Organização Mundial da Saúde* (OMS) divulgou que 150 mil pessoas estariam a morrer por ano por

consequências do aquecimento global. A subida do nível do mar, as secas de longa duração e a evaporação de reservas de águas potáveis são consequências do aquecimento global [8].

O consumo energético a nível mundial está há anos em crescente aumento. A procura por energia tende a aumentar quase 50% até 2035, segundo dados da *US Energy Information Administration's International Energy Outlook 2011*. O maior crescimento do consumo será por parte das nações com baixos níveis de desenvolvimento económico, não pertencentes a OCDE (*Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico*). Nesses países a população crescerá dos atuais 5.730 milhões para 7.990 milhões de habitantes em 2050 [12].

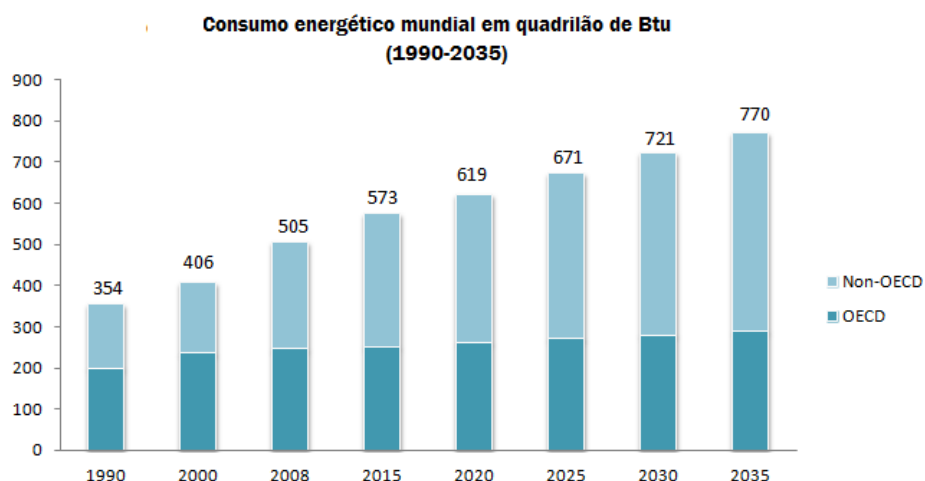


Figura 4 – Consumo energético mundial, 1990-2035 [13]

A industrialização, a globalização e interesses económicos tem contribuído para a insustentabilidade ecológica mundial. Técnicas sustentáveis foram esquecidas e substituídas por tendências e tecnologias ditas inovadoras.

Atualmente a indústria da construção civil é responsável por elevados impactos ambientais, não só em termos de emissões de carbono como também de consumo de recursos não renováveis e da produção de resíduos. É responsável pelo consumo de 50% dos recursos mundiais. O uso de combustíveis fósseis necessários para operação e manutenção das edificações são responsáveis por 50% do aquecimento global, enquanto os transportes são responsáveis por outros 25%. Metade da água utilizada no mundo é destinada ao abastecimento de instalações sanitárias e outros usos nas edificações [8].

Quadro 1 – Recursos globais utilizados nas edificações [8]

Recurso	Uso na edificação (%)
Energia	50
Água	50
Materiais (brutos)	50
Perda de solo agrícola	80
Destruição de recifes de coral	50 (indireto)

Quadro 2 – Poluição global relacionada com a edificação [8]

Poluição	Relacionados com a edificação (%)
Qualidade do ar (cidades)	24
Gases que provocam o aquecimento global	50
Poluição da água potável	40
Resíduos depositados em aterros sanitários	20
CFC/HCFC	50

Os materiais de construção e as técnicas utilizadas também sofreram grandes mudanças ao longo dos anos. O uso de materiais industriais se tornou muito popular, enquanto o uso de materiais tradicionais entrou em declínio. Na maioria dos casos os materiais tradicionais têm capacidade de promover eficientes condições de conforto em habitações tradicionais, e têm a vantagem de menor consumo energético. Porém o declínio dos métodos tradicionais de construção levou a preferência por materiais industriais [4].

A verdade é que adoção de algumas simples medidas pode ser muito benéfica. Por exemplo, a introdução de isolamento e captação de energia solar em edificações de climas frios têm baixo custo e permite aumentar o nível de conforto humano, diminuindo a necessidade de climatização artificial. Em climas quentes, o plantio de árvores junto as edificações proporciona sombreamento e direciona a ventilação natural, o que contribui para reduzir o uso de aparelhos de ar condicionado [8].

A organização espacial, o estilo de vida das populações e o uso do solo também têm influência nas emissões de CO₂. Cidades com baixa densidade e com solo destinado a um único uso, geram mais quantidades de CO₂ por habitante do que cidades compactas e de uso misto [8]. Isso acontece devido as maiores necessidades de transporte e de construção de infraestruturas para habitações isoladas. Porém, cidades muito densas e mal planeadas podem correr riscos de congestionamento, concentração excessiva de calor e de poluição, degradação do meio urbano, entre outros.



Figura 5 – Congestionamento de tráfego urbano: mal planeamento [4],[14]

Com as práticas construtivas atuais, o planeta Terra não será capaz de suprir nos próximos tempos a demanda de recursos e todo o impacto ambiental devastador que tem recebido ao longo

das últimas décadas. Os danos ambientais serão por todos sentidos, resultando em problemas como a elevação das temperaturas, problemas de saúde causados pela poluição do ar ou pela contaminação da água e escassez de energia e de alimentos [8].

Atualmente metade da população mundial vive em cidades com mais de 1 milhão de habitantes, sendo metade destas em cidades com mais de 8 milhões de habitantes. As consequências da pressão sobre o meio ambiente serão sentidas primeiramente nessas megacidades, como a Cidade do México e São Paulo [8].

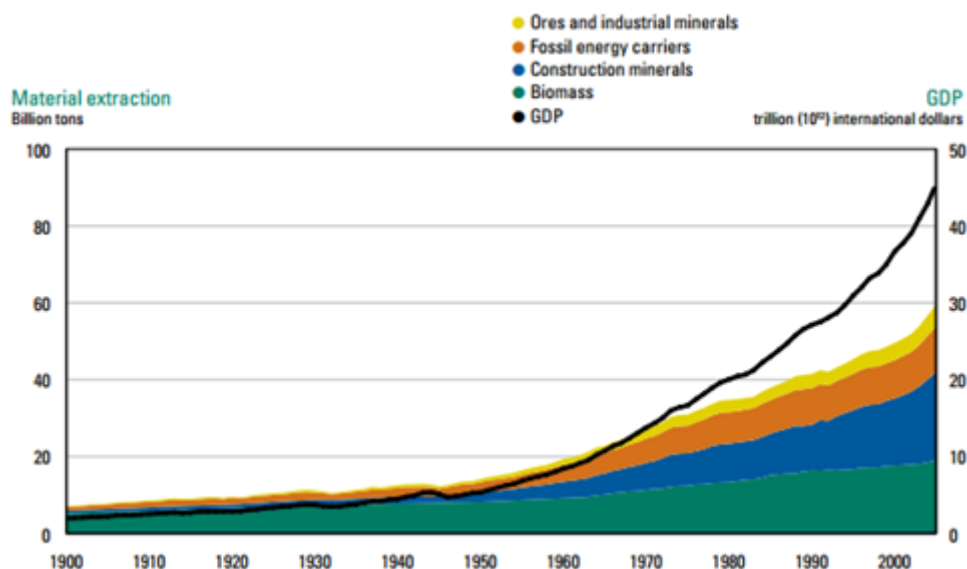


Figura 6 – Extração global de materiais em mil milhões de toneladas, 1900-2005 [15]

A arquitetura e a construção civil não podem por si só resolver os problemas ambientais existentes, mas podem contribuir significativamente para a criação de habitats mais sustentáveis. A construção sustentável pode colaborar para reduzir quase a totalidade das emissões de CO₂ resultantes do edificado, principalmente durante a fase de operação [9]. A destruição dos recursos naturais e as consequências que daí advém, também pode ser limitada com os chamados R's da sustentabilidade. É preciso ter consciência para a reciclagem ou reutilização dos materiais, reduzir o gasto apenas ao necessário e, se é possível, recusar o consumo quando este for dispensável.



Figura 7 – R's da Sustentabilidade

2.1.3. Construção Sustentável

A construção e a arquitetura sustentável deriva do conceito de desenvolvimento sustentável. Como foi referido, o setor da construção é atualmente o setor económico que mais consome recursos e apresenta-se ainda com elevado grau de insustentabilidade, portanto a necessidade de uma arquitetura sustentável busca propor o funcionamento eficiente das cidades e edifícios, traduzindo em economia, respeito social e ambiental.

A consciência para esta problemática iniciou-se a partir de diversos acontecimentos: 1970 com o documento do Green Building; 1973 com choque do petróleo e a procura por novos tipos de fontes energéticas; 1980 com o surgimento generalizado da Avaliação Ambiental de Edifícios e em 1987 com o relatório de Brundtland [16].

Em 1994, Charles Kibert definiu, no contexto do *Conselho Internacional da Construção* – CIB, o conceito de construção sustentável como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e no projeto baseado em princípios ecológicos” [6], [17]. Ainda em 1994, o CIB também definiu os 7 Princípios para a Construção Sustentável.

Quadro 3 – Os 7 princípios da Construção Sustentável [9],[17]

Os 7 princípios da Construção Sustentável	
1	Redução no consumo de recursos
2	Reutilização de recursos
3	Utilização de recursos recicláveis
4	Proteção da natureza
5	Eliminação de tóxicos
6	Aplicação de análises de ciclo de vida em termos económicos
7	Ênfase na qualidade

Atualmente o tema da construção sustentável tem crescido exponencialmente a nível de interesse mundial. Por exemplo, em 1994 foram publicados 17 artigos em revistas científicas, referenciados na base de dados Scopus/Elsevier, 2 anos depois esse número subiu para 172 artigos. Em 2009 já foram publicados quase 2400 artigos relacionados com esse tema [6].

Assim como o desenvolvimento sustentável, a construção sustentável apoia-se na harmonia dos pilares económicos, ambientais e sociais. Neste caso a dimensão económica está relacionada com a valorização do ativo imobiliário, a criação de emprego e o desenvolvimento de outros setores económicos. A dimensão ambiental tem em conta o consumo de recursos naturais, emissões de GEE, produção de resíduos, conforto térmico e acústico, ocupação do solo e impacto na biodiversidade. A dimensão social relaciona saúde e segurança no trabalho, formação profissional, integração e social, alteração paisagística e impacto visual [9].

Relativamente as atividades construtivas, as preocupações tradicionais centravam-se na qualidade do produto, no tempo gasto para produção e nos custos associados. Porém, a construção

sustentável apresenta novos paradigmas. A preocupação ambiental provocou a introdução de aspetos relacionados com a qualidade ambiental na chamada construção eco-eficiente, cujas preocupações baseiam-se no consumo de recursos, emissões de poluentes e preservação da biodiversidade. Por fim, a construção sustentável soma então os princípios da construção tradicional e da construção eco-eficiente, introduzindo a estas as dimensões ambiental, social e económica.

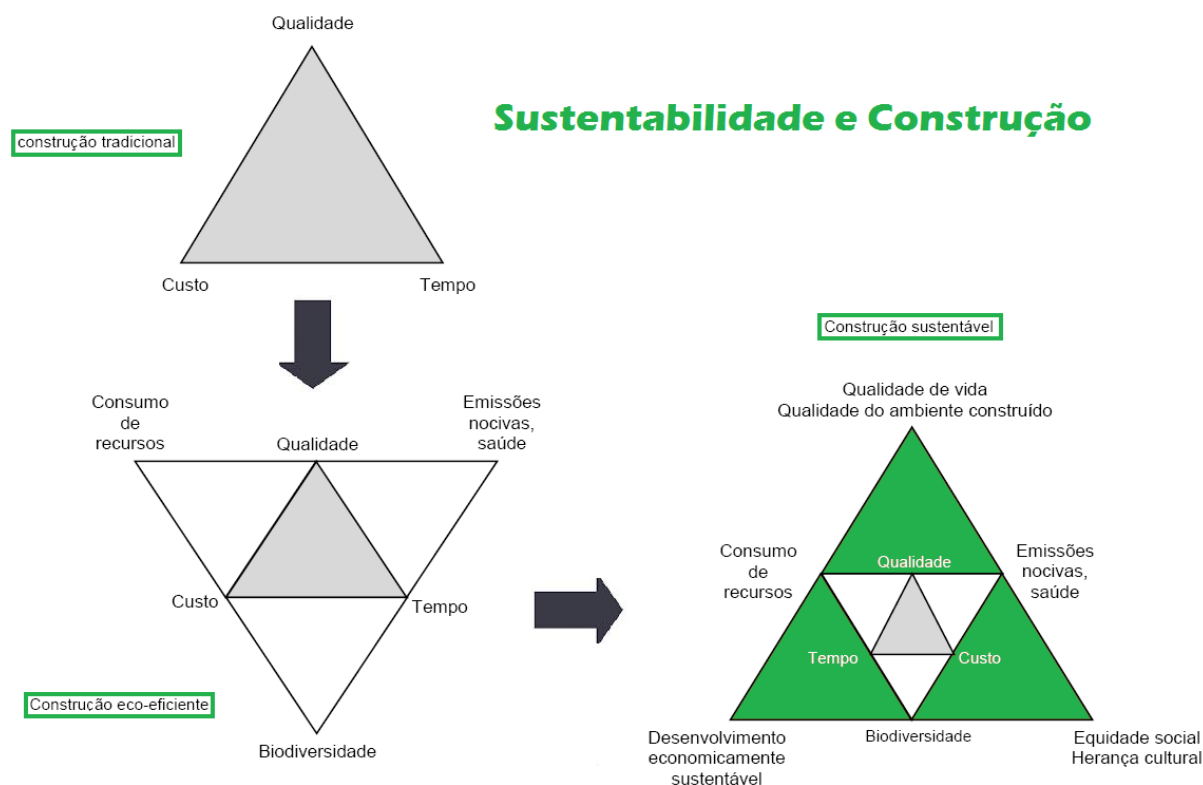


Figura 8 – Sustentabilidade e Construção [9],[18]

O conceito mais genérico do termo sustentabilidade passa pela busca de soluções e estratégias que permitam a eficiência, o conforto e a continuidade do desenvolvimento das sociedades humanas, sem que para isso seja necessário prejudicar o ecossistema e as gerações futuras. Conforme referido o setor da construção civil é capaz de causar elevados impactos ao meio ambiente, portanto a necessidade de uma arquitetura sustentável busca propor o funcionamento eficiente das cidades e edifícios, traduzindo em economia, respeito social e ambiental.

Neste contexto surge a arquitetura bioclimática. O objetivo principal desse conceito de arquitetura é promover o máximo conforto ambiental com o mínimo gasto energético, protegendo o meio ambiente. Desse modo, a arquitetura bioclimática é sustentável a medida que se adapta ao clima e ao contexto geográfico local, buscando a eficiência energética. Mas embora esteja relacionada com o conceito de construção sustentável, a arquitetura bioclimática é uma condição necessária, mas não é por si só suficiente [9].

Um grande dilema a este tema é que para se conseguir baixos custos de operação e manutenção das construções é necessário aceitar custos iniciais mais elevados do que para a

construção corrente [3]. Porém sabe-se que o tempo de vida útil das construções é relativamente elevado, é importante pensar em longo prazo e investir em tecnologias ecológicas, mesmo que os benefícios só sejam notados após vários anos. É preciso ter em conta a vida útil das edificações e das próprias cidades em que elas se inserem [8]:

- Acabamentos: 10 anos
- Instalações: 20 anos
- Edificações: + 50 anos
- Infraestruturas (viárias e ferroviárias): +100 anos
- Cidades: +500 anos

Uma obra sustentável deve considerar todo o processo no qual o projeto é concebido, construído, utilizado e o seu pós vida útil. É fundamental saber quem vai usar os ambientes, quanto tempo de vida útil terá e se depois desse tempo todo poderá servir para outros propósitos ou não. Evitar desperdícios, minimizar a energia gasta nos processos construtivos e operativos e ter preocupação se os materiais podem ser reaproveitados. Isso tudo faz parte de um projeto sustentável.

Quadro 4 – Impacto da construção civil e do uso dos edifícios [8]

Comparação entre o impacto da construção civil e o uso de edifícios		
Impacto	Construção	Uso
Recursos energéticos	Médio	Alto
Água	Médio	Alto
Recursos minerais	Alto	Baixo
Transporte	Médio	Alto
Poluição do ar	Baixo	Médio
Poluição da água	Alto	Baixo
Poluição sonora	Alto	Baixo
Impacto visual	Alto	Médio
Impacto sobre a fauna e flora	Alto	Baixo
Resíduos sólidos	Médio	Alto
Saúde	Alto	Médio

Há alguns anos que pesquisas sobre “edifícios verdes” se tornaram moda no campo da arquitetura e foram criados métodos de avaliação ambiental: BREEAM, LEED, GBTool, entre outros. Contudo a maioria desses métodos reflete a realidade de climas frios, e com difícil aplicabilidade em climas tropicais. Uma tentativa de modificação desses métodos importados para o caso local, sem ferramentas sofisticadas e sem cuidados, pode criar um grande obstáculo para o desenvolvimento de “construções-verde”, especialmente em países em via de desenvolvimento [4].

À medida que os edifícios se vão tornando cada vez mais eficientes do ponto de vista energético, os materiais de construção vão adquirindo uma maior importância, o que justifica que sobre os materiais de construção também haja uma atenção acrescida [6].

Os materiais eco-eficientes são aqueles que garantem durabilidade, baixa manutenção, baixa energia primária incorporada, economia ao longo do seu ciclo de vida e além disso que não sejam

nocivos à camada de ozono. São ainda materiais locais e elaborados a partir de materiais primas recicladas e que preferencialmente tenham possibilidades de serem reutilizadas após a sua vida útil. Também é preciso ter em atenção alguns cuidados adicionais com o local de aplicação do material de construção, por exemplo, o ferro oxida e os materiais em geral deterioram mais rápido nos trópicos do que em países com clima temperado [4].

Não é possível saber a partida se o betão é mais amigo do ambiente do que o aço. O primeiro pode utilizar materiais locais e ainda permitir o escoamento de vários resíduos industriais, mas produz grande quantidade de CO₂. O segundo apresenta vantagem de poder ser reciclado indefinidamente, mas a sua produção requer elevado consumo energético, e ainda é um material suscetível a corrosão. É necessário, então, a contabilização de todos os impactos ambientais causados por cada material, desde o início das extrações das matérias-primas (*cradle*) até a fase final do ciclo de vida (*grave*). Ou seja, é importante fazer uma *Análise do Ciclo de Vida* (ACV) [6].

A aplicação de análises de ciclo de vida está regulamentada internacionalmente pelas normas ISO 14040, ISO 14041, ISO 14042 e ISO 14043, desde 1996. Porém um dos inconvenientes das ACV está no fato de necessitarem de uma grande quantidade de dados sobre os impactos ambientais dos materiais para as diversas fases que compõem o ciclo de vida. Uma ACV também requer muito tempo de trabalho. As categorias de impactos ambientais geralmente utilizadas para as ACV são: consumo de recursos não renováveis; consumo de água; potencial de aquecimento global; potencial de redução da camada de ozono; potencial de eutrofização; potencial de acidificação; potencial de formação de smog; toxicidade humana; produção de resíduos; uso de terra; poluição do ar; alteração de habitats [6].

Deve-se ter em atenção que a ordem de importância de cada categoria não é a mesma para todos os países, depende da realidade de cada região. Por exemplo, um produto que consuma uma elevada quantidade de água, constitui um elevado impacto ambiental num país bastante árido, mas o mesmo já pode não ser verdade se for produzido no Norte da Europa. Faz então todo sentido que a categoria de impacto ambiental referente ao consumo de água tenha pesos diferentes conforme o clima e abundância de água do local de produção [6].

O sucesso dessa avaliação depende da existência de listagens exaustivas sobre os impactos ambientais associados ao fabrico dos diferentes materiais e também aos diferentes processos construtivos, em cada país. Há atualmente diversos softwares que fazem a ACV consoante dados de vários países. Como exemplo desses softwares tem-se o BEES (*Building for environmental and economic sustainability*) desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency*, o qual é disponibilizado gratuitamente para qualquer potencial utilizador.

De início, é preciso perceber quais são os impactos ambientais provocados pela extração de matérias-primas para se perceber qual é a importância dos materiais no contexto da construção sustentável. Uma das mais extremas questões prende-se na possibilidade de esgotamento das matérias-primas não renováveis. Não existem matérias-primas inesgotáveis. Pensa-se contudo que o maior problema ambiental associado ao consumo de recursos não será a possibilidade de esgotamento de matérias-primas, mas antes os impactos ambientais provocados pela sua extração

[19]. Como a destruição da biodiversidade dos locais de extração e pela quantidade de resíduos gerados, e também pelos possíveis acidentes ambientais [6].

Também com objetivo de valorizar os materiais e produtos com melhor desempenho ambiental, os rótulos ecológicos foram criados. Esses rótulos constituem uma garantia relativamente a um determinado desempenho ambiental certificado por uma entidade independente. Apresentam algumas vantagens em relação as análises de ciclo de vida, no aspecto de serem mais simples. Mas um rótulo ecológico não engloba os impactos ambientais relacionados com o transporte do produto, não é possível contemplar essa variável. É necessário perceber que um produto de rotulagem ecológica poderá eventualmente ser considerado menos aconselhável, se for produzido a quilômetros de distância, do que a utilização de produtos e materiais do local, ainda que sem rótulo [6].

Enfim, um projeto sustentável envolve a redução do aquecimento global através da eficiência energética e uso de técnicas, como a análise do ciclo de vida, com o objetivo de manter o equilíbrio entre o investimento inicial e os gastos a longo prazo. Assim como também envolve a concepção de espaços saudáveis, viáveis economicamente e sensíveis às necessidades sociais [8].

Em muitos países, não apenas tropicais, a construção sustentável enfrenta desafios como a falta de dados regionais para avaliação da sustentabilidade e a ausência de políticas governamentais favoráveis ao desenvolvimento sustentável. Sem a devida liderança governamental, financiamento e regulamentação apropriada para promover as construções sustentáveis, esse tema torna-se bastante complicado de ser aplicado [20].

2.2. Contexto geográfico e clima tropical

O clima tem influência direta sobre a forma de concepção tanto de um edifício quanto da malha urbana em que se insere. Cada clima tem suas necessidades e características, devendo a arquitetura e a construção civil adaptar-se a cada local em específico. Numa abordagem sustentável, também os recursos naturais existentes, assim como a durabilidade dos materiais de construção são condicionados pelo clima e pelo contexto geográfico em que se insere a construção.

2.2.1. Clima tropical

A função primordial de uma habitação é a proteção dos ocupantes às condições climáticas, como calor, chuva, frio ou humidade. Assim sendo, é fundamental uma observação do clima local antes de começar qualquer projeto.

Os climas são condições atmosféricas que persistem ao longo de uma sequência de anos numa certa região. O clima global é dado por fenómenos naturais, referentes a radiação solar, a

reflexão da radiação nas nuvens, a possível existência de neve, a existência de água à superfície, o solo e a topografia. A integração desses efeitos dita o clima regional [21].

Na presente dissertação será abordado apenas construções em climas tropicais. Segundo Ayode, em *“Introdução à climatologia para os trópicos”*, os climas tropicais são caracterizados pela ausência de estação fria e por amplitude térmica diária considerável, e são principalmente encontrados nas seguintes áreas:

- 1- O continente da África, com exceção das bordas setentrionais e meridionais;
- 2- Ásia de monção, que cobre o sul e o sudeste asiático e o norte da Austrália;
- 3- A parte central e setentrional da América do Sul.

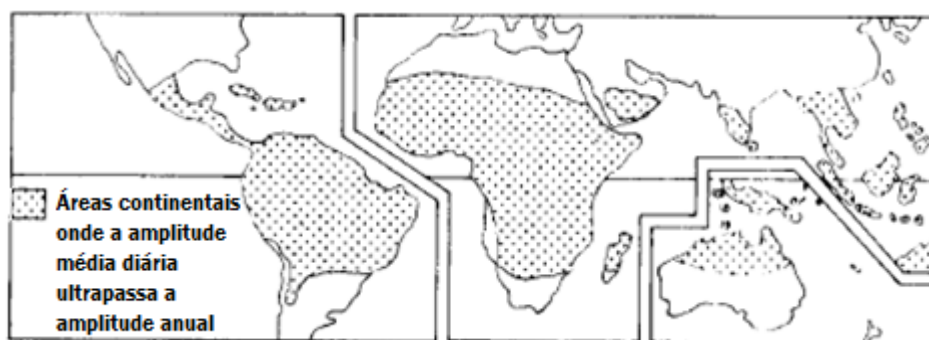


Figura 9 – O domínio climático tropical [1]

As áreas tropicais incluem as florestas tropicais do Caribe, América Central, Amazônia, África Equatorial, Indonésia, Malásia, Sul da Índia, entre outras. Onde geralmente as temperaturas médias rondam os 18°C, com um máximo entre 27°C e 32°C, e com humidades relativas variando entre 55% e quase 100% [21].

Nos trópicos as estações anuais são definidas fundamentalmente com base na ocorrência de precipitação e na humidade relativa do ar. Há um debate entre qual a melhor classificação climática a se fazer nessas regiões, priorizando a temperatura e humidade ou outros fatores, como a vegetação e a altitude.

Segundo Van Lengen, em *“Manual do arquiteto descalço”*, é feita a distinção básica entre o clima tropical seco e o clima tropical húmido:

- ➔ O clima Tropical Seco: É quente e com pouca chuva, vegetação escassa e grandes amplitudes térmicas diárias.
- ➔ O clima tropical Húmido: É quente, mas com muita chuva, muita vegetação e baixas amplitudes térmicas diárias.

Em *“Arquitetura bioclimática do espaço público”*, Bustos Romero trata da distinção de três tipos de clima para as regiões tropicais, em função da construção encontrada na região tropical: Quente-Seco, Quente-Húmido e Tropical de Altitude [22]. Na tabela abaixo a autora faz a distinção entre os climas.

Quadro 5 – Tabela adaptada de Bustos Romero em “Princípios bioclimáticos para o desenho urbano” [23]

	Quente-Húmido	Quente-Seco	De Altitude
Localização	Entre os trópicos de Câncer (23° 27'N) e de Capricórnio (23° 27'S).	Entre os trópicos de Câncer (23° 27'N) e de Capricórnio (23° 27'S).	Predominantemente entre 400 e 1200 metros de altitude, e entre 14° e 16° de latitude sul.
Estações	Duas estações: verão e inverno, com pequenas variações de temperatura entre elas.	Duas estações: uma seca e outra de chuva.	Duas estações: Quente-húmida durante o verão e seca no inverno.
Temperatura	Pequenas amplitudes térmicas. Temperatura elevada durante o dia e um pouco mais amena a noite.	Grandes amplitudes térmicas diárias. Muito quente durante o dia e mais baixa durante a noite. Algumas regiões podem ter invernos com temperaturas negativas.	Elevada durante o dia e baixa durante a noite. Forte perda por radiação noturna na estação seca.
Radiação	Radiação difusa: intensa. Radiação direta: evitada pela concentração do vapor de água das nuvens.	Radiação difusa: pouca, devido a baixa humidade. Radiação direta: intensa.	Radiação difusa: intensa no verão e menor no inverno. Radiação direta: acentuada no verão.
Vento	Fraco, de direção dominante sudeste.	Massa de ar quente carregada de partículas de pó em suspensão durante a estação seca.	Mais constante de sudeste e leste no inverno seco e de noroeste no verão chuvoso.
Humidade do ar	Elevada.	Baixa.	Baixa (aproximadamente 70%)
Precipitação	Período das chuvas é indefinido, mas as maiores precipitações ocorrem no verão.	Pouca precipitação. Mesmo no período chuvoso não alcançam os valores de humidade do clima tropical-húmido.	Pouco intensa no inverno e mais intensa no verão.

2.2.2. Condições de conforto urbano

As cidades são constituídas por edifícios, vias de circulação, parques e praças, entre outros locais construídos pelo homem para satisfazer suas necessidades, proteção e conforto.

O conforto dos ocupantes é um dos objetivos do projeto bioclimático, portanto está diretamente relacionado com a arquitetura. Através dos sentidos os ocupantes interagem consciente ou inconscientemente com o meio em busca do estado de conforto térmico, visual, acústico e olfativo. Porém, a caracterização do conforto é uma tarefa complexa, pois integra fatores pessoais, subjetivos, com fatores físicos. Portanto a sensação de conforto é variável de pessoa para pessoa e também de atividade para atividade, podendo a sensação de desconforto afetar o rendimento das pessoas na execução de suas tarefas

O conforto visual pode ser medido fisicamente pela intensidade da luz (Lux) que é recebida. A qualidade da vista que se tem no interior do edifício e da vista que se tem do interior para o exterior do mesmo são fatores que estão relacionados com a quantidade de luz existente. O papel da iluminação natural é fundamental para alcançar o conforto visual sem uso excessivo de iluminação artificial, ou seja, consumo energético.

O conforto acústico refere-se a ausência de ruídos que possam comprometer a audição ou causar interferências indesejáveis. Para medição do conforto acústico é medido a intensidade do ruído (dB). Enquanto o conforto olfativo está diretamente relacionado com a qualidade do ar e depende essencialmente da emissão e acúmulo de poluentes e da taxa de renovação do ar. Para medição do conforto olfativo é medido a composição química do ar interior.

A questão do conforto térmico é talvez a mais importante para a concepção de uma construção sustentável, pois permite uma redução significativa da utilização de sistemas de climatização artificial. “Segundo a ASHRAE 55-92 (1992), o conforto térmico é o estado da alma que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa. Se o balanço de todas as trocas de calor a que está submetido o corpo for nulo e a temperatura da pele e suor estiverem dentro de certos limites, pode-se dizer que o homem sente conforto térmico.” [24].

A sensação de conforto térmico está relacionada com a troca de calor entre o corpo humano e o meio envolvente, dentro de limites razoáveis para evitar o desconforto. Essas trocas podem ocorrer por condução, convecção, radiação e evaporação. Havendo ganho ou perda de calor, pode ocorrer uma tendência de aumento ou diminuição da temperatura interna do organismo (situada cerca de 37°C). O corpo responde a essas variações térmicas através da transpiração, no caso de aquecimento, e por contração muscular, no caso de arrefecimento [24].

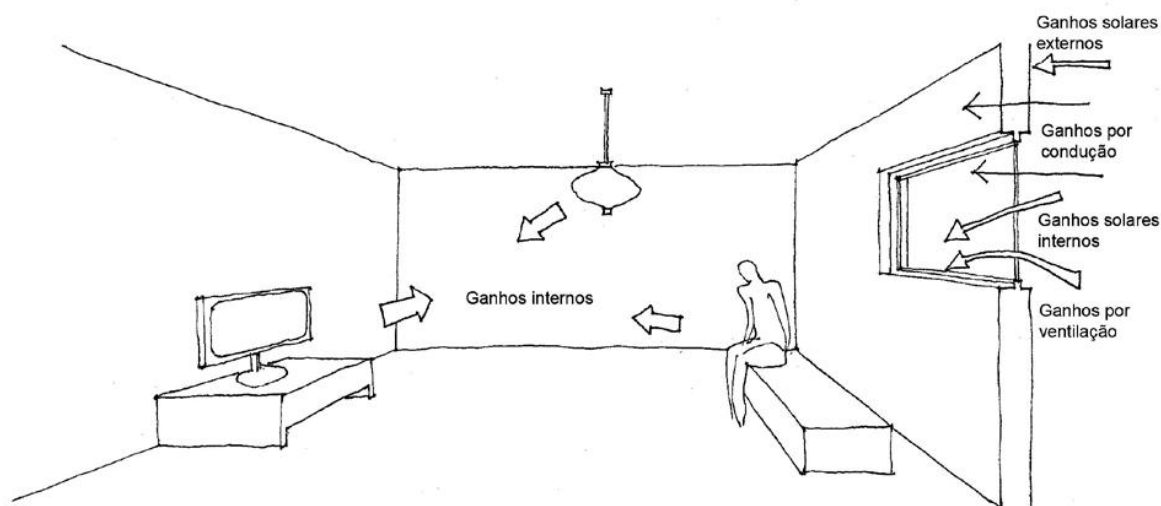


Figura 10 – A figura acima esquematiza os ganhos de calor [3]

Os ganhos de calor solares externos são provenientes da incidência de radiação solar sobre as superfícies opacas externas e transferidos para o interior por condução, enquanto os ganhos solares internos são aqueles provocados pela radiação solar que atravessa os vãos envidraçados. A diferença de temperatura entre o ar interior mais fresco e o ar exterior mais quente provoca ganhos por condução entre as superfícies com diferentes temperaturas e ganhos por ventilação devido a infiltração de ar quente para o interior da habitação. As pessoas, os equipamentos e a iluminação artificial são responsáveis pelos ganhos internos [3].

As variáveis ambientais que influenciam o conforto térmico são: temperatura do ar, temperatura radiante, humidade relativa e velocidade do ar. Por exemplo, um aumento de humidade relativa pode diminuir ou inibir a perda de calor por transpiração, nesse caso o vento pode facilitar a retirada de humidade do ar em torno da pele. Além das variáveis ambientais, a atividade física e a vestimenta também influenciam a sensação de conforto térmico [25].

O calor que se acumulou no interior do edifício pode ser dissipado através da ventilação, evaporação, radiação, etc. A utilização de técnicas de arquitetura passiva pode conseguir bons resultados de conforto térmico sem consumo energético significativo, mesmo não sendo capazes de promover níveis de conforto uniformes ao longo do tempo, como é conseguido em ambientes climatizados artificialmente. Essa é uma questão que deve conciliar o estilo de vida dos ocupantes com questões ambientais e financeiras.

Põe-se, então, esta questão da necessidade de ter um ambiente com condições constantes de conforto. Correia Guedes, *et al.*, nos *Manuais de Arquitetura Sustentável* do projeto *SURE-Africa*, refere que existe pesquisas realizadas por todo o mundo em edifícios naturalmente ventilados que concluem haver um número maioritário de pessoas a sentirem-se confortáveis com os seus ambientes térmicos, mesmo apresentando variações fora da zona de conforto térmico convencional [3].

Ainda segundo essa publicação [3], existem estudos que referem insatisfação dos ocupantes de habitações com ar condicionado central, pois sentem uma falta de naturalidade do ambiente e

exposição a problemas de saúde inerentes ao sistema mecânico de refrigeração. Portanto, verifica-se que nem sempre os ocupantes estão satisfeitos quando estão submetidos a ambientes climatizados artificialmente.

Outra questão relevante é o que existe atualmente convencionado para as condições de conforto térmico. Normas, como a ASHRAE 55-92 (1992) ou a ISO 7730 (1994), apresentam uma zona limitada de temperatura como sendo teoricamente ideal. Essa zona limitada representa as condições para qual a maioria dos ocupantes vão se sentir confortáveis. Estes padrões convencionais são considerados como aplicáveis em qualquer região do mundo, apesar da grande variedade climática existente, apenas fazendo distinção entre situações de conforto de inverno e de verão [26].

A temperatura de conforto considerada como ideal para o verão é em torno de 22°C, com temperaturas máximas de 26°C. Ao analisar essas temperaturas de conforto com as temperaturas médias de climas quentes verifica-se uma necessidade intensiva de arrefecimento, somente conseguida por completo com recurso de ar condicionado. Para climas quentes é preciso ter em conta, e há diversos estudos que comprovam esta teoria, que as pessoas que vivem nesses climas estão confortáveis com temperaturas mais quentes do que as pessoas que vivem em climas mais frios. Consequentemente, esse fato inviabiliza a adoção de um único padrão de conforto térmico válido em todo o mundo e traz um grande debate sobre a verificação de critérios de conforto térmico convencionais [3].

Fisicamente o conforto térmico pode ser medido pela temperatura do bolbo seco (°C) e a humidade relativa. Uma ferramenta de auxílio na análise do estado de conforto térmico é o diagrama psicrométrico. É muito utilizado para comparar diferentes estados do ar com diferentes temperaturas e humidades absolutas, a partir das quais é possível obter as humidades relativas para os estados em questão.

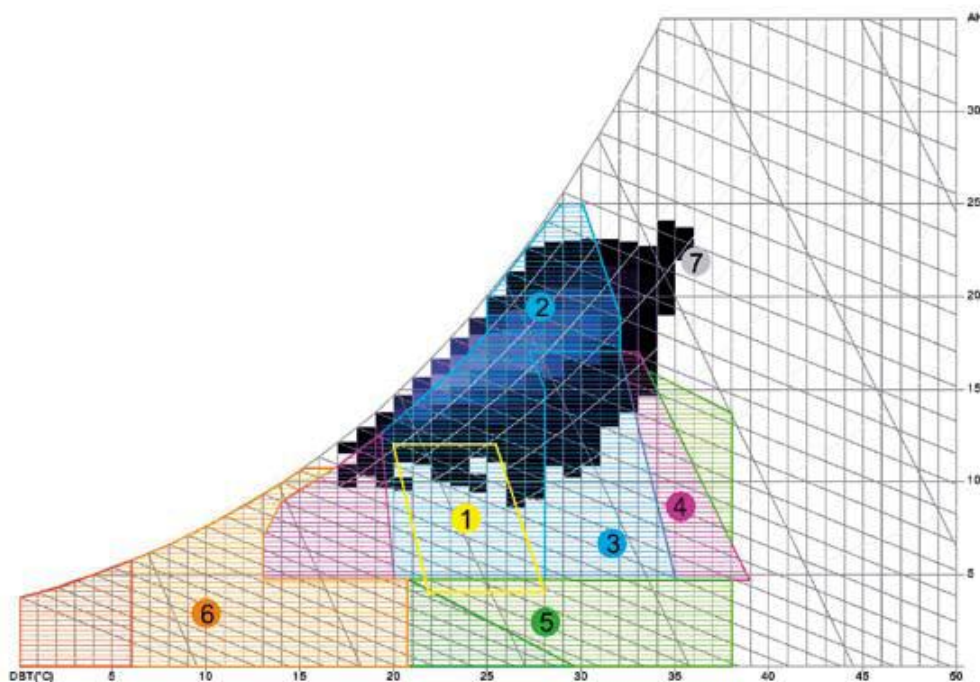


Figura 11 – Diagrama psicrométrico – cidade de Luanda, Angola [26]

As zonas definidas no gráfico, segundo Givoni (1969), correspondem a:

- 1- Contorno amarelo: Zona convencional de conforto de verão da ASHRAE.
- 2- Contorno azul claro: Zona de influência da ventilação diurna.
- 3- Contorno azul: Zona de influência da ventilação noturna.
- 4- Contorno cor-de-rosa: Zona de influência da inércia térmica.
- 5- Contorno verde: Zona de influência do arrefecimento evaporativo.
- 6- Contorno amarelo cor de laranja: Zona de aquecimento passivo.
- 7- Fundo brando: Zona onde o ar condicionado é necessário.

A zona sombreada em tons de azul e preto representa as variações existentes na cidade de Luanda.

Givoni, em 1969, baseado em pesquisas definiu no diagrama psicrométrico as zonas de influência das várias técnicas de arrefecimento passivo. Por exemplo, tomando o diagrama psicrométrico acima, correspondente a cidade de Luanda (clima quente e húmido), é possível verificar que, com recurso a métodos passivos de arrefecimento e controlo dos ganhos térmicos, consegue-se atingir o conforto térmico sem recurso a meios mecânicos. A principal estratégia de arrefecimento que deve ser utilizada em edifícios em Luanda é a ventilação diurna. A ventilação noturna e a inércia térmica também são eficientes para o arrefecimento. Apenas períodos correspondentes aos que se localizam na zona 7 do diagrama psicrométrico é que necessitam de sistemas mecânicos, como ventoinhas ou ar condicionado [26].



Figura 12 – A utilização do ar condicionado pode ser minimizada /evitada [3]

A sensação de conforto térmico das pessoas está diretamente relacionada com as condições térmicas existentes a nível da edificação, as quais estão diretamente dependentes das condições térmicas existentes nas cidades em que se inserem. A nível macro, as cidades apresentam o chamado efeito de ilha-de-calor, o qual é conhecido como um fenómeno em que as temperaturas nas cidades são mais elevadas do que as temperaturas nas áreas suburbanas rurais. Esse aquecimento urbano deve-se primeiramente às absorções de radiação solar por materiais urbanos e aos processos de combustão que ocorrem nas cidades e esta diretamente relacionado com o aumento populacional urbano, o qual levou a compactação das cidades e a consequente redução de áreas verdes.

Um edifício isolado não tem grande influência sobre o clima, porém um conjunto de edifícios pode ter considerável influência. Os edifícios contribuem para alterar o clima local por redução da área verde, emissão de poluição, rápido escoamento de águas de chuva e geração de calor. Os fatores que mais influenciam o chamado efeito de ilha-de-calor são as distâncias entre os edifícios, as propriedades térmicas dos materiais e a evaporação das superfícies. O aumento de superfícies construídas causa o aumento de reflexão de radiação solar em forma de ondas longas para as cidades, e a ausência de vegetação diminui o efeito refrescante que a evapotranspiração proporciona [4].

Em climas frios, a ilha-de-calor não é sempre indesejável, uma vez que nesses casos durante o inverno é favorável um aumento de temperatura, poupando alguma energia utilizada no aquecimento de edifícios. Porém, esse fenômeno tem impactos negativos para as cidades de clima tropical, a medida em que aumenta a temperatura do ar, aumenta as necessidades energéticas de refrigeração e aumenta a quantidade de água necessária para irrigar as superfícies. Além disso, pode causar riscos para a saúde humana, pois há um aumento de poluição aérea e acumulação de smog, também associados com o aumento da temperatura do ar [4]. Pode causar também um aumento do desconforto associado a baixa humidade do ar, uma vez que o aumento da temperatura nas cidades ocorre com uma redução de humidade relativa [27]. Portanto é indesejável em climas tropicais.

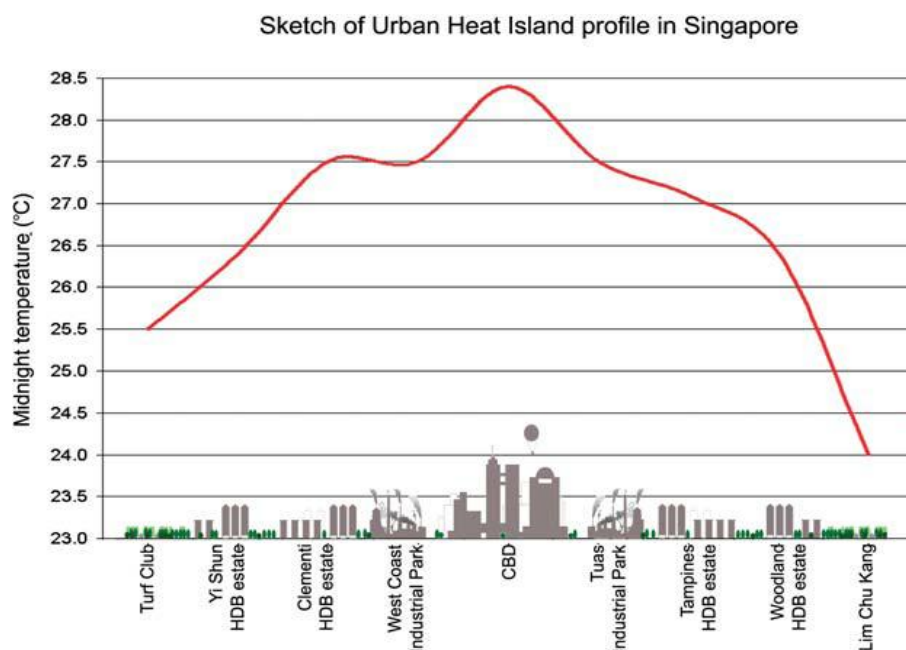


Figura 13 – Esquema do efeito ilha-de-calor em Singapura [4]

A figura acima exemplifica o efeito de ilha-de-calor na cidade de Singapura. É possível verificar nesta análise que a temperatura é tão maior quanto maior for a densidade urbana. O centro urbano apresenta uma temperatura de quase 28.5°C, enquanto a mesma hora as zonas rurais suburbanas apresentam temperaturas entre 25.5°C e 24°C.

Pouca vegetação, tráfego intenso de veículos e alta concentração de edifícios no centro das cidades provocam maiores temperaturas nessa parte da cidade. Zonas industriais também sofrem aquecimento devido ao emprego de telhados metálicos, material com grande potencial de absorver energia solar. Áreas residenciais com jardins podem favorecer de temperaturas um pouco mais amenas, enquanto áreas florestais são as que apresentam as temperaturas mais baixas.

A intensidade da ilha-de-calor está relacionada com o tamanho das cidades. Quanto mais população, mais construções, mais veículos e indústrias houver na cidade, maior será a devastação dos espaços verdes e maiores serão os efeitos de ilha-de-calor. Porém esse fato não é suficiente para explicar o fenômeno físico da ilha-de-calor, a estrutura urbana, a geometria das ruas e dos prédios, também tem forte influência [27], [28].

A relação entre largura das vias públicas e a altura dos edifícios é fundamental no controlo da ilha de calor. Essa relação influencia o processo de absorção de radiação solar e emissão de radiação de ondas longas pelas superfícies dos edifícios e do solo. Também tem influência nas perdas e ganhos de calor devido aos ventos [4].

São chamados “canyons” urbanos as ruas e avenidas ladeadas por edifícios em ambos os lados. Num “canyon” boa parte da vista do céu é bloqueada pelos edifícios, e as perdas por radiação de onda longa são reduzidas, contribuindo para o aquecimento noturno.

Para resumir, segundo OKE *et al.* (1981), [27], as principais causas da formação da ilha-de-calor nas cidades são:

- ➔ Acumulo de calor durante o dia, devido às propriedades térmicas dos materiais urbanos, e grande emissão de radiação durante a noite;
- ➔ Menor taxa de evaporação, devido à diminuição de vegetação e de superfícies líquidas;
- ➔ Aumento de radiação de ondas longas, devido à absorção de ondas longas e sua reemissão pelos poluentes da atmosfera urbana;
- ➔ Menores perdas de radiação de ondas longas nas ruas e *canyons* urbanos, devido à redução de aberturas para a atmosfera, causada pela existência de edifícios;
- ➔ Maior absorção da radiação de ondas curtas pela superfície urbana, devido ao efeito das construções;
- ➔ Adição de calor devido à utilização de equipamentos mecânicos de condicionamento do ar, transportes e indústrias.

2.3. Materiais das Regiões Tropicais

Segundo Thormark (2006), uma escolha adequada dos materiais de construção pode significar uma redução em 17% na energia gasta na construção do edifício [29]. O que, segundo Já Gonzalez & Navarro (2006), é possível de reduzir quase 30% as emissões de CO₂, evitando a emissão de 38 toneladas de CO₂ [30]. Além da escolha por materiais com elevada durabilidade e mais adequados termicamente a realidade local, a opção por materiais existentes nas proximidades do local da obra e de baixo impacto ecológico são medidas a ter em conta na construção sustentável [6].

Portanto, é preciso escolher materiais de construção que aumentem a eficiência energética dos edifícios, ao mesmo tempo que diminuem a pressão ambiental e que contribuem para o melhor conforto dos ocupantes. O ciclo de vida dos materiais também é importante, ou seja, é preciso ter em conta as vantagens e desvantagens existentes ao longo de toda a vida útil do material, desde a produção, a manutenção e a sua possível reciclagem ou reutilização.

2.3.1. O Bambu

O bambu é um recurso natural de rápido crescimento, de grande disponibilidade e de baixo custo económico em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Podendo ocorrer aproximadamente desde 46°N à 47°S de latitude, desde o nível da água do mar até 400 metros de altitude [31], [32].

O bambu suporta temperaturas entre 8,8°C e 36°C, e precipitações extremas entre 100 mm a 700 mm por ano. A grande concentração de espécies de bambu ocorre em clima tropical nas latitudes equatoriais. A Austrália só tem três espécies nativas de bambu, a Rússia apenas uma espécie, enquanto a Índia possui cerca de 113 espécies. Curiosamente a África é um continente relativamente pobre em bambu [32].



Figura 14 – Distribuição do bambu pelo mundo [31]

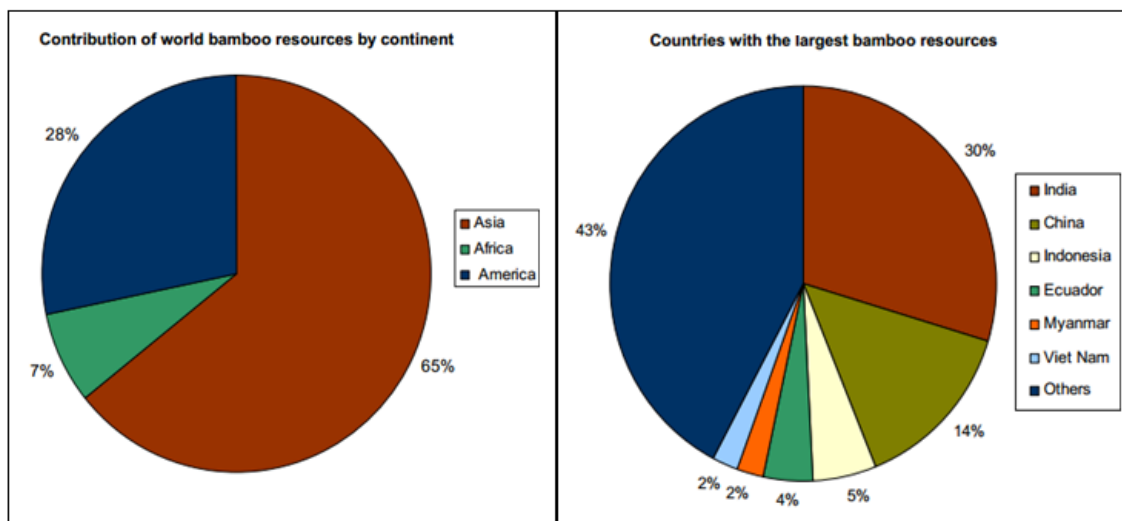


Figura 15 – Distribuição percentual do bambu pelo mundo [33]

A classificação biológica do bambu é *bambusae*. No total existem catalogadas entre 550 e 1250 espécies diferentes de bambu e muitas são utilizadas na construção. Assim como as árvores, as espécies de bambu variam de tamanho e de cor. Na Ásia e na América do Sul há espécies de bambu com alturas que atingem até 30 metros, como os bambusa *arubdinacea* e os *guadua angustifolia* [32].



Figura 16 – Bosque de bambu [21]

A parte aérea do bambu é composta pelo colmo (vara de bambu), galhos e folhas. O bambu é capaz de crescer até 3,60 metros em apenas seis semanas. O crescimento dá-se em formato de cilindro, mas de forma cônica, diminuindo o seu diâmetro da base até ao topo [32]. É possível alterar as formas do colmo do bambu com moldes, quando esses ainda são pequenos. Dessa maneira é possível obter formas quadradas ou triangulares [34].

Os colmos do bambu são na maioria ocos, mas existem exceções. Constituem fibras de um composto feito de um rígido polímero de celulose em uma matriz de lignina e silício. O silício confere resistência mecânica ao bambu, enquanto a lignina garante flexibilidade [35].

Na Ásia ainda é possível presenciar exemplos das mais antigas construções utilizando bambu como material de construção, em templos japoneses, chineses e indianos. O Taj Mahal teve a sua abóboda original construída em bambu, apenas recentemente é que foi substituída por material metálico. Na África também encontram-se muitas habitações populares construídas com recurso a bambu [32], [35].

O uso de materiais de construção modernos, como o aço, provocou a perda de importância que alguma vez o bambu teve na construção civil. Inclusive algumas formas típicas de edifícios de bambu foram reproduzidas com outros materiais de construção. O preconceito atual com o uso do bambu e a sua curta vida útil, quando comparado com outros materiais modernos, foram razões que contribuíram para a redução do seu uso [32].

Diferentemente da madeira, o bambu não pode ser cortado numa forma desejada, geralmente tem que ser utilizado em sua forma natural, o que representa uma desvantagem. A falta de padronização do bambu impede que se possa optar sempre sistemas de fixação em série como é possível utilizar na madeira, assim sendo, a maioria das uniões entre bambus é feita de forma artesanal [32].



Figura 17 – Ponte com estrutura em bambu [32]

O bambu também é muito utilizado para formar barreiras acústicas contra os ruídos e como barreiras aos ventos. Muitos arquitetos contemporâneos têm fascínio pelo bambu e procuram encontrar seus próprios caminhos para a construção com esse material, partindo de técnicas tradicionais e procurando inova-las. Um dos primeiros exemplos desta mescla de tradição e modernidade é um quiosque em forma de estrela construído em 1962 na Colômbia pelo arquiteto Oscar Hidalgo. Esta obra inovadora se baseia numa cobertura em quadrados com largura de 15 metros e sem uma coluna central. A intenção de ser uma estrutura temporária, porém ainda depois de 11 anos estava em bom estado de conservação [32].



Figura 18 – Obra do arquiteto Oscar Hidalgo em 1962 na Colômbia [32]

O bambu é utilizado como material de construção principalmente para habitações. As suas principais características são: baixa elasticidade, baixa aderência ao betão, limitação de diâmetros e comprimentos, e um variado teor de humidade. É um material renovável com grande disponibilidade e rápido crescimento mas, a menos que seja bem escolhido, bem tratado e protegido da humidade e de insetos, o bambu tem baixa durabilidade [36].

2.3.2. A Madeira

A madeira é provavelmente o mais antigo material de construção utilizado, precedendo até a própria pedra. Este material de construção é um produto vegetal proveniente do lenho de árvores e arbustos. Por ser de fácil obtenção e de fácil adaptação às necessidades, a madeira foi de grande utilização por civilizações primitivas. Foi um material indispensável da construção civil, mas em muitas regiões deixou de ser, perdendo mercado para materiais como o aço e o betão.

Inicialmente as estruturas de madeira primárias eram constituídas por ramos de árvores enterrados no solo e amarrados no topo, como por exemplo os *teepees* dos índios norte americanos. Posteriormente com o surgimento de utensílios e ferramentas metálicas tornou-se mais fácil cortar e moldar a madeira, permitindo o surgimento de novas ligações mais complexas, inclusive utilizando pregos e cavilhas como elementos de ligação [37].

Devido a suas características, a madeira tem sido utilizada na construção civil com diversas aplicações, desde temporárias a definitivas. Em uso temporário ela pode servir de cofragem para betão, andaimes e escoramentos. O seu uso definitivo é amplo e vai desde estruturas a pavimentos. [38], [39]. Podem constituir habitações, coberturas, passagens pedonais e até mesmo pontes rodoviárias. Existem várias espécies, tamanhos, formas e cores que possibilitam satisfazer diferentes gostos e necessidades. É um material esteticamente agradável e com elevado desempenho estrutural [37].

Quadro 6 – Aplicações na engenharia civil [39]

Construção civil pesada externa	Engloba peças de madeira serrada utilizadas em pontes, estacas, postes, escoras, travessas ferroviárias, etc.
Construção civil pesada interna	Engloba peças de madeira serrada utilizadas na estrutura principal de coberturas, vigas, etc.
Construção civil leve externa e leve interna estrutural	Engloba peças de madeira serrada utilizadas em usos temporários (andaimes, escoramento e cofragens), estrutura secundária de coberturas, etc.
Construção civil leve interna decorativa	Engloba peças de madeira serrada e tratada, onde a madeira apresenta cor e formas decorativas, como painéis de revestimento, guarnições, lambris, etc.
Construção civil leve em esquadrias	Engloba peças de madeira serrada e tratada, como portas, caixilhos, venezianas, etc.
Construção civil de assoalhos domésticos	Engloba diversos tipos de peças de madeira serrada e tratada utilizada em pavimentos.

As florestas, fontes de madeira, ocupam atualmente cerca de 30% da superfície terrestre, aproximadamente 40 milhões de quilómetros quadrados [37]. Quase metade das áreas florestais existente a nível mundial está em regiões de clima tropical. O sudeste da Ásia e as Américas são os

loais onde há maior número de espécies de árvore por hectare, os valores são entre 108 a 240 espécies por hectare no sudeste asiático e entre 56 a 285 espécies nas Américas. O continente africano possui entre 56 a 92 espécies de árvores por hectare [40].

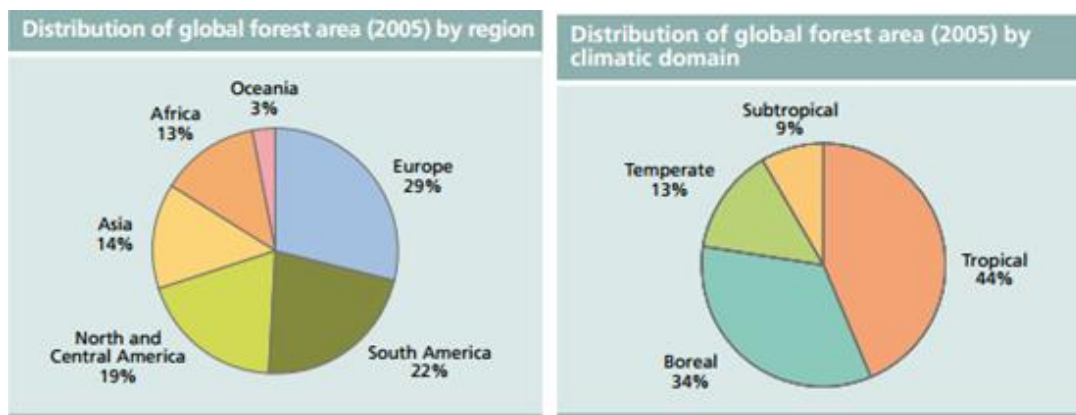


Figura 19 – Distribuição percentual das florestas pelo mundo [40]

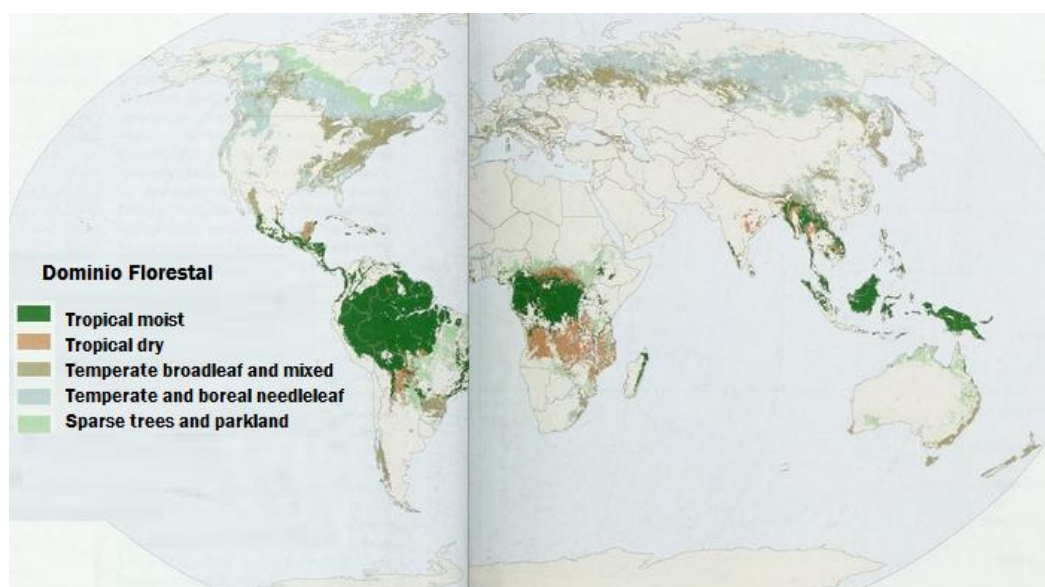


Figura 20 – Domínio Florestal [40]



Figura 21 – Florestas tropicais pelo mundo
[Fonte: <https://www.e-education.psu.edu/geog030/node/395>]

Porém, o abate indiscriminado tem provocado a diminuição de áreas florestais em várias partes do mundo. Nos últimos anos, as florestas estão desaparecendo rapidamente na América e na África, entretanto, a Ásia liderada pela China tem registado ganhos de áreas florestais. É necessário uma gestão consciente da produção de madeira. A utilização da madeira deve ser realizada de forma sustentável, assegurando o reflorestamento capaz de manter os recursos e a biodiversidade do planeta, pois as florestas são um elemento essencial para a existência de vida na Terra devido as suas interações com o ciclo da água e com o ciclo do carbono.

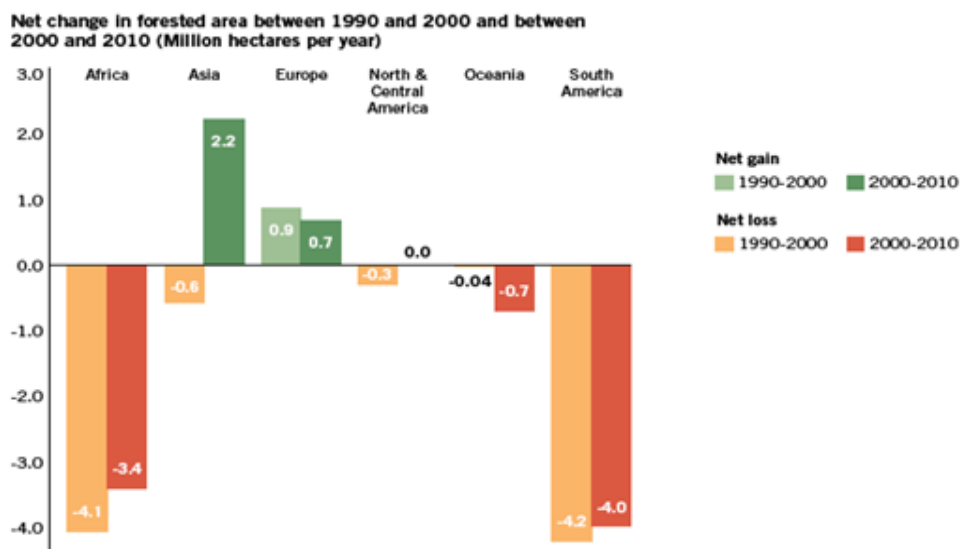


Figura 22 – Alteração das áreas florestais por continente, 1990-2000 e 2000-2010 [11]

Para uma construção em madeira ser sustentável é fundamental o uso de madeira de reflorestamento, porém o seu uso ainda sofre alguns preconceitos e obstáculos. As espécies mais utilizadas no reflorestamento são aquelas que apresentam rápido crescimento. O eucalipto, por exemplo, é uma espécie muito utilizada mundialmente para o reflorestamento, porém não é a mais adequada para as florestas tropicais, visto não fazer parte da flora local e consequentemente poder causar um desequilíbrio ambiental. A Teca (*Tectona grandis*) é uma opção de madeira de reflorestamento para as florestas tropicais, sendo uma madeira dura e de alta qualidade. Esta espécie apresenta boa resistência quanto a tração, flexão e outros esforços mecânicos [38].

A relativa abundância da madeira na natureza, juntamente com as suas boas características mecânicas, levou ao uso deste como material de construção desde sempre. No início, devido a falta de ferramentas para trabalhar, utilizava-se madeira proveniente de árvores de pequenas dimensões. Com o avanço tecnológico foi possível utilizar madeiras de todas as dimensões [37].

Durante centenas de anos foi o único material capaz de vencer grandes vãos e permitir maior versatilidade. Apenas com a Revolução Industrial e o aparecimento do aço é que a madeira perdeu um pouco a sua importância. Juntamente com o aumento populacional e o desenvolvimento urbano, a madeira começou a escassear em algumas regiões do mundo e sua importância estrutural na construção ficou reduzida essencialmente a pequenas estruturas residenciais [37].

O desenvolvimento da madeira está também muito dependente da capacidade dos projetistas em criarem novos e atrativos projetos bem dimensionados e duráveis. Alguns países desenvolvidos, como a Austrália e a América do Norte, possuem cerca de 90% das construções habitacionais em madeira [37]. Nos países tropicais o consumo da madeira tem tido nos últimos anos um ligeiro aumento de 0,7%, segundo fontes do ITTO (*Internation Tropical Timber Organization*). O maior consumo dá-se na Indonésia, Brasil e Índia.

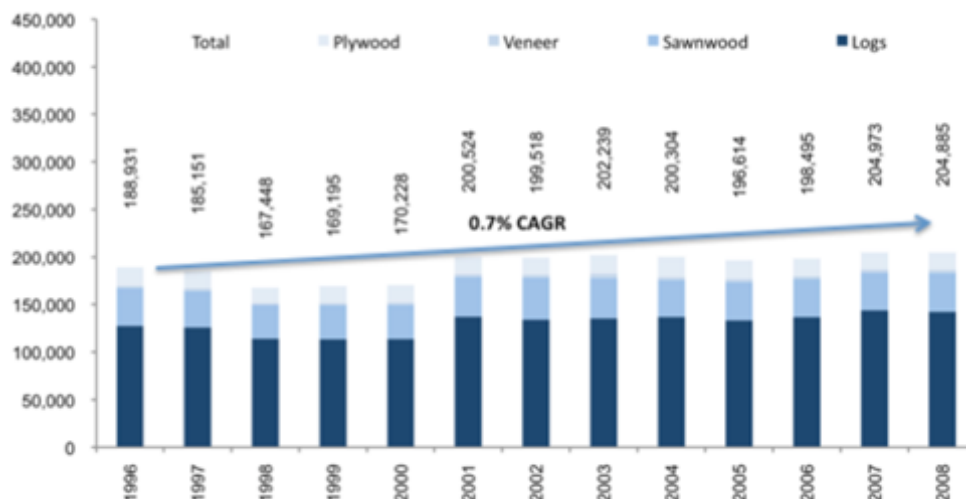


Figura 23 – Consumo doméstico de madeira tropicais (000m³), ITTO 1996-2008
[Fonte: <http://www.investingalternatively.com/industries/tropicalforestry/demand>]

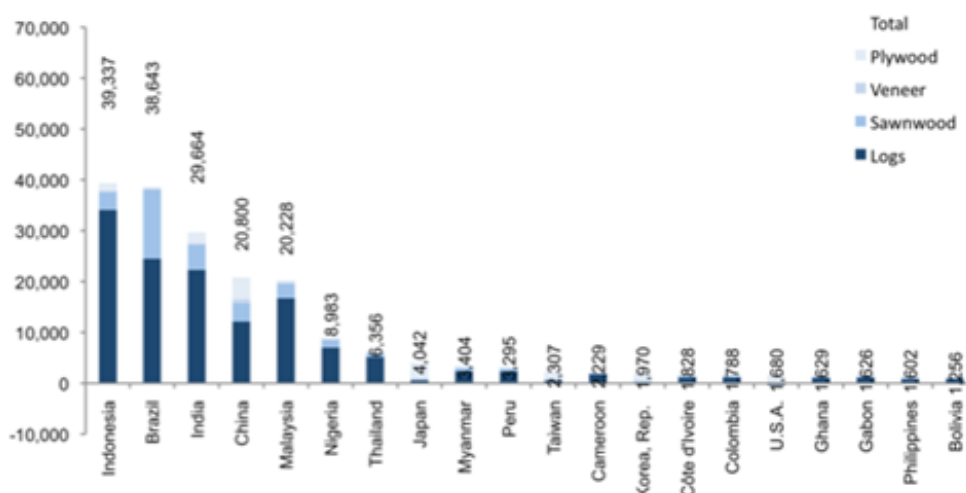


Figura 24 – Consumo doméstico de madeiras tropicais (000m³). Top20, ITTO 2008
[Fonte: <http://www.investingalternatively.com/industries/tropicalforestry/demand>]

Os incêndios e as guerras foram as causas principais para a maior parte das estruturas em madeira não terem chegado aos tempos de hoje, além da própria degradação por agentes da natureza. Mas com periódicas ações de conservação das estruturas de madeira é possível manter em bom estado esses tipos de construção durante centenas de anos. Um exemplo disso é a ponte sobre o rio Kintaikyo em Iwakuni no Japão, a qual foi construída em 1673 e sobrevive até aos dias de hoje, passando por reconstruções periódicas de 20 em 20 anos [37].

Nos países tropicais há uma vasta diversidade de espécies de árvores, é então preciso uma atenção adicional à escolha correta da madeira. Como é sabido, as propriedades básicas das madeiras são muito variadas conforme as espécies, e por ser um material natural tem características heterogêneas e anisotrópicas. Na escolha correta da madeira para um determinado uso deve-se considerar quais propriedades são as mais adequadas para os respectivos níveis requeridos [37], [39].

No final do século XX, a utilização de madeiras coladas permitiu a utilização de madeiras em estruturas de grandes dimensões e de grandes vãos, com a vantagem de terem cargas não muito elevadas. Mais atualmente a tecnologia têm permitido o fabrico de uma diversidade de produtos derivados de madeira. De uma forma geral pode-se definir três categorias de produtos de madeira e seus derivados: produtos de madeira maciça, produtos estruturais de madeira e produtos aglomerados de madeira [37].

A madeira maciça é produzida diretamente de troncos ou ramos de árvores. Os produtos estruturais, como a madeira lamelada coladas, são desenvolvidos a partir de fibras de madeira orientadas para boas resistências estruturais. Enquanto os aglomerados de madeira são aqueles que têm a forma de uma placa, formados por fibras e partículas de madeira aglomeradas entre si através de colagem e prensagem [37].

Madeira serrada (madeira maciça): A peça de madeira originalmente cilíndrica é transformada em peças menores e de outros formatos. A produção depende do número e características dos equipamentos utilizados. Na maioria das serrarias a madeira recebe um pré-tratamento superficial para proteção contra fungos e insetos xilófagos. A madeira seca em uso deve depois receber um tratamento definitivo que garanta a sua proteção a longo prazo [39].

Contraplacados: Surgiram no início do século XX, possibilitando um grande aproveitamento da madeira e redução de custos. É composto de várias lâminas unidas perpendicularmente uma à outra, através de colagem. É extensamente utilizado na indústria de móveis e de construção civil, com preço a variar conforme as espécies, colas utilizadas, qualidade das faces e número de lâminas que o compõe. Chapas finas de compensado têm vantagem de serem maleáveis e poderem ser encurvadas [39]. Porém, podem ter produtos químicos nocivos ao meio ambiente, além de possuírem baixa durabilidade, sendo mais adequados para construção de móveis.

Aglomerado de partículas: São formados por fibras e partículas de madeira aglomeradas entre si através de colagem e prensagem, tendo a forma de uma placa. Apresentam boa relação resistência/peso, boa relação resistência/custo e facilidade de laboração, acabamento e colocação em obra, além de vantagens ambientais, como a possibilidade de uso de madeira reciclada [37]. Mas as chapas de aglomerado de partículas não apresentam boa resistência à humidade ou à água, portanto devem ser utilizadas em ambientes internos e secos, para que suas propriedades naturais não se alterem e possam ter maior durabilidade [39].

MDF: As chapas de MDF (*medium density fiberboard*) são produzidas com fibras de madeira aglutinadas com resina sintética, que consolidam sob ação conjunta de temperatura e pressão. Essas chapas apresentam superfície plana e lisa, adequada a diversos tipos de acabamentos, como

pinturas, vernizes e outros revestimentos. As chapas MDF podem ser serradas, lixadas, recebem bem pregos, parafusos e colas, desde que seguindo recomendações do fabricante. Podem ser utilizadas em móveis e na construção civil, com boa utilização em portas de armários, gavetas, tampos de mesa, molduras, etc. [39].

2.3.3. O Colmo

Colmo, em inglês *"thatch"*, é um tipo de caule encontrado nas plantas gramíneas como: a cana-de-açúcar, o capim, o sapé, o milho, o arroz, o bambu. Estes caules têm os nós e entrenós bem visíveis, podendo ser ocos ou maciços. É um material natural amplamente disponível em quase todas as regiões do mundo, exceto em climas extremos onde não há crescimento de vegetação [41]. Em regiões onde há abundância de palmeiras, estas também podem ser utilizadas para esta técnica.

A técnica consiste em deixar os caules secarem ao sol depois da colheita por um curto espaço de tempo, obtendo como subproduto a palha. Posteriormente serão ligados mecanicamente ou amarrados entre si, dispostos em camadas sobre uma estrutura de madeira ou bambu.



Figura 25 – Colheita da palha [42]

A utilização do colmo na construção civil é maioritariamente nas coberturas, mas podendo também ser utilizado em paredes leves ou em outras utilizações. Pode ser adequado a diversos climas, principalmente tropicais e temperados. A palha é um ótimo material isolante térmico, os espaços de ar no seu interior permitem um bom desempenho.



Figura 26 – Casa com cobertura em colmo [3]

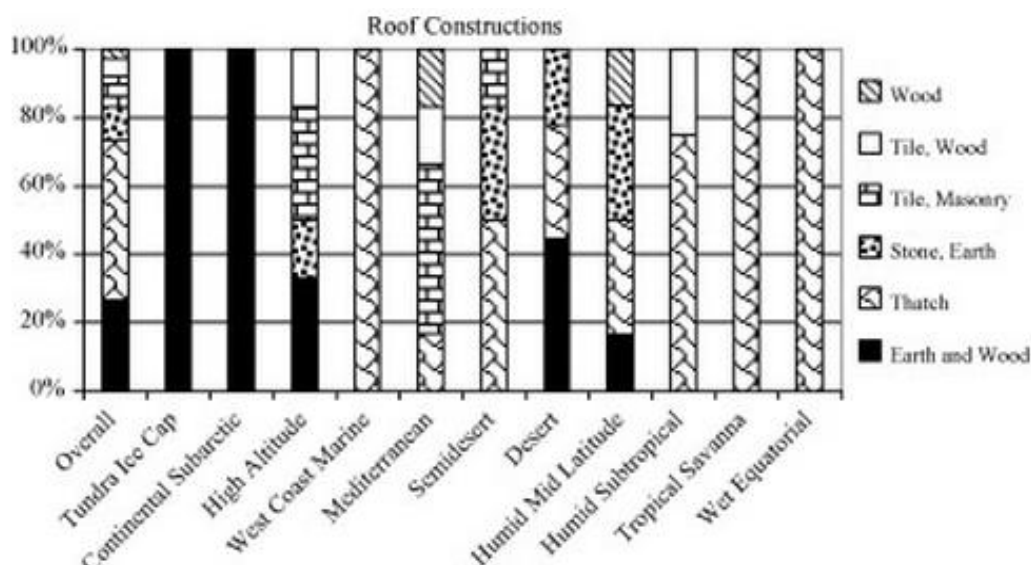


Figura 27 – Tipos de materiais utilizados nas coberturas em percentagem por zonas climáticas [41]

Esse material caiu em desuso, sendo substituído por materiais modernos como telhas cerâmicas ou chapas metálicas, os quais são mais práticos e por vezes mais baratos devido a maior facilidade de instalação e maior durabilidade. A durabilidade das coberturas em colmo é geralmente de 3 a 7 anos. Mas se for de boa qualidade, com regular manutenção, bem planeada e bem construída, pode durar mais de 30 anos. Há atualmente produtos químicos que aumentam a durabilidade, mas são ainda bastante caros [43].

Uma grande desvantagem do uso do colmo é o maior risco de incêndio, principalmente em cidades, uma vez que é um material inflamável [42]. Outro ponto negativo é o fato de que aves e outros animais podem com alguma facilidade danificar o colmo.

Em algumas regiões, há escassez de mão-de-obra especializada para a construção com colmo, o que pode tornar mais cara a obra, mesmo que a matéria-prima seja amplamente disponível na região, portanto com baixo custo [43].

Mas como vantagem tem-se a sustentabilidade do material. É um material natural e renovável, amplamente disponível em várias regiões, portanto com baixo custo de produção. A sua capacidade de isolar o calor resultará em menores gastos com eletricidade. A sua utilização tem valor também para promover a história e a cultura das construções antigas, apesar de que recebe atualmente muitos preconceitos. Tem vantagem também de ser mais leve que a madeira, logo maior será a facilidade de transporte e menor será o peso que a estrutura terá que suportar [43].

O desempenho do colmo para coberturas depende da forma do telhado, do local, da qualidade do material e da perícia de quem o construiu. É aconselhável uma inclinação mínima de 30 graus e uma espessura mínima de 20 centímetros para permitir que as águas das chuvas escoem rapidamente, evitando que a cobertura retenha água e, desta forma aumente de peso, podendo também infiltrar água para o interior das construções. Quando aplicado corretamente é capaz de resistir bem aos ventos.



Figura 26 – Estrutura de uma cobertura em colmo
 [Fonte: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Thatched_Roof_Inside_View.jpg]

Atualmente tem sido muito utilizado o colmo junto com chapas metálicas na cobertura. A conjugação desses dois materiais permite aumentar a durabilidade e tornar a cobertura totalmente estanque a água das chuvas. Essa conjugação permite diminuir a altura e inclinação da cobertura, porém uma baixa inclinação pode por em causa a durabilidade do colmo, pois desta forma irá absorver mais água e deteriorar mais rapidamente [43].

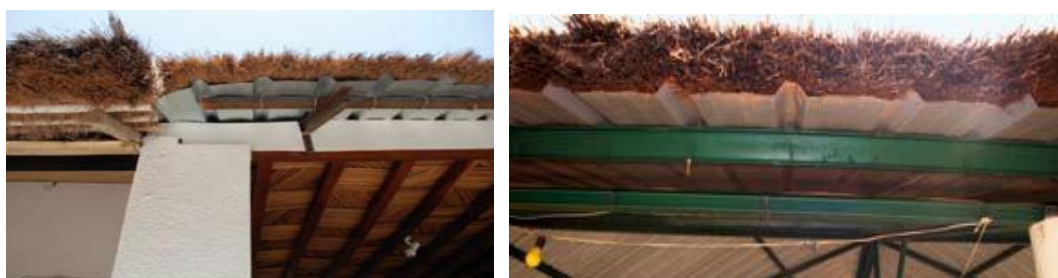


Figura 27 – Uso misto de chapa metálica na cobertura [44],[45]

2.3.4. A Terra

A terra como material de construção é utilizada há milhares de anos. E apesar da passagem do tempo, muitos casos de construções em terra executadas há alguns milhares de anos atrás conseguiram chegar ao século XXI. Um exemplo é a Grande muralha da China cuja construção apresenta troços extensos construídos em taipa há aproximadamente 3.000 anos atrás. Na América Central é comum encontrar construções históricas com estruturas de adobe, como as ruínas da cidade de Chanchán no Peru [6].

No Iêmen existe uma cidade histórica quase toda em terra e ainda hoje habitada, a cidade de Shibam, cuja construção teve início no século III. A cidade é constituída por edifícios com 5 a 11 andares, construídos com paredes exteriores em adobe cuja espessura se estreita gradualmente em altura para aligeirar o peso e melhorar a estabilidade [6], [46].



Figura 28 – Edifícios em adobe no Shibam, Iémen [6]

Atualmente quase 50% da população mundial vive em habitações feitas com terra, ou seja, cerca de 3.000 milhões de pessoas. Esse tipo de construção é encontrado por todo o mundo, desde lugares com temperaturas mais amenas, como a Europa, até a lugares com elevada pluviosidade, como a América do Sul. Apesar da energia cinética do impacto das chuvas ser o principal mecanismo responsável pela erosão das paredes de terra, não se pode afirmar que há uma relação direta entre densidade de construções em terra e precipitação ou temperatura médias anuais [6].



Figura 29 – Distribuição das construções em terra pelo mundo [6]

Em termos gerais, os solos são compostos por matéria orgânica, sejam plantas e animais em decomposição, e por resultado da desagregação de rochas em virtude de agentes físicos, químicos e biológicos. O material utilizado como matéria-prima da construção em terra consiste apenas na parte mineral dos solos, nomeadamente argilas, siltes e materiais arenosos [47]. A caracterização desta fase mineral é feita através de ensaios que caracterizam propriedades como a granulometria, o comportamento mecânico e a deformação. Alguns ensaios podem ser realizados em campo, outros devem ser levados a laboratórios.

Em princípio qualquer solo pode ser utilizado para confecção de paredes, blocos e tijolos. Mas o comportamento de um solo depende da sua quantidade de argilas, siltes e areia. Os solos mais indicados para utilização na construção são aqueles que possuem 50 a 70% de teor de areia na sua composição. A quantidade de água adicionada a mistura depende do tipo de solo, quanto mais argiloso for o solo, maior a necessidade de água [47].



Figura 30 – Áreas onde o solo é mais adequado às construções em terra [48]

Quando os solos não possuem características favoráveis para a construção em terra, pode ser necessário a adição de outros solos para obter as propriedades desejadas. Um solo muito argiloso e muito plástico poderá necessitar de ser misturado com um solo arenoso, assim como um solo muito arenoso necessitar de material fino. Também é possível melhorar as características do solo com misturas de cal ou cimento [6].

As técnicas construtivas mais conhecidas de construção em terra são: a taipa, o tabique e o adobe. Mais recentemente surgiu a técnica dos blocos de terra compactada, denominada por BTC.

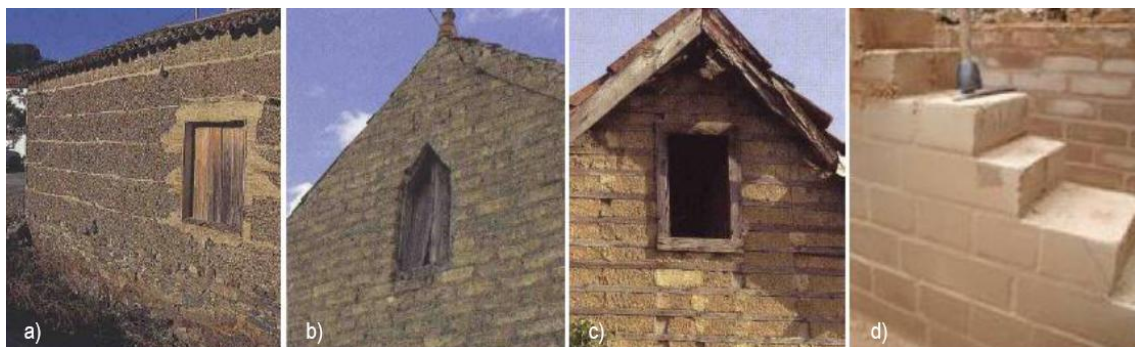


Figura 31 – Técnicas construtivas em terra [49]

- a) Taipa: Paredes auto-portantes em terra executadas *in situ*
- b) Adobe: Blocos de terra crua moldados
- c) Tabique: Engradado de madeira preenchido com terra
- d) BTC: Blocos de terra compactada

Adobe:

Do árabe “*attob*”, que significa tijolo seco ao sol, o adobe é uma técnica de construção com simplicidade de fabrico e edificação. Constitui a maioria das construções antigas em terra e muitas delas ainda apresentam-se habitadas atualmente [6]. Foi a base da arquitetura mesopotâmica e egípcia [45].

O fabrico do adobe consiste na moldagem de pequenos blocos em moldes, que ainda no estado fresco são desmoldados e colocados a secar ao sol à temperatura ambiente. Podem ser fabricados blocos simples ou com encaixe macho-fêmea para melhor travamento da parede, e em vários formatos e dimensões. Essa técnica construtiva requer o uso de um solo plástico e argiloso,

portanto é sobretudo utilizada em locais onde é possível encontrar água. O solo argiloso fissa quando seca devido a retração. Por isso é costume reforçar o adobe com fibras vegetais ou sintéticas para minimizar a fissuração [6].

Segundo Doat *et al.* (1979), é recomendado para a construção em adobe que o solo tenha a seguinte constituição: 55-75% de areia; 10-28% de silte; 15-18% de argila; < 3 % de matéria orgânica [6],[50]. Na escavação dispensa-se a camada superior, pois contém muita matéria orgânica. E quando o teor de argila é baixo, adiciona-se à terra cal aérea, que permite melhorar a resistência da mistura [45]. Antigamente a palha e outros produtos vegetais eram utilizados para proporcionar coesão aos blocos de adobe, hoje é comum a utilização de cimento [21].

A forma de construir em adobe é semelhante a colocação do tijolo convencional formando uma alvenaria. O assentamento dos blocos de adobe deve ser feito com argamassa à base de terra para manter um nível semelhante de retração entre materiais e evitar o aparecimento de fissuras ou deslocamentos. As faces das paredes de adobe podem ser rebocadas igualmente por argamassa à base de terra ou ficar com os adobes à vista [6]. Podem ser utilizados em paredes, abóbodas, cúpulas, entre outros. E tal como em paredes de tijolos, pode-se construir paredes duplas de adobe com isolamento no interior [45].

Os blocos de adobe podem ser convencionalmente realizados à mão ou mecanicamente com uso de máquinas semelhantes às agrícolas que possibilitam um processo mais rápido de fabrico [6].



Figura 32 – Construção de uma parede de adobe [6]

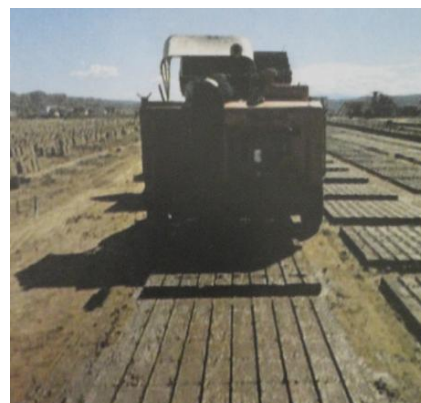


Figura 33 – Produção mecânica de adobe [6]

Taipa:

A taipa é uma técnica de construção monolítica, na qual o solo com consistência de terra húmida é compactado para formar um bloco ou uma parede. A terra é compactada em camadas de aproximadamente 10 centímetros, até preencher todo o taipal, este é posteriormente removido e reerguido para a camada seguinte [6].

A terra para a construção é escavada perto do local escolhido, retirando-se a primeira camada, pois contém muita matéria orgânica. Posteriormente a terra é desagregada e amassada com água, consoante o nível de humidade requerido. Um dos problemas que se pode ter nessa técnica é a retração do material, o que leva a sua fissuração. Este pode ser melhorado com recurso a adição

de cal apagada em pó, material que sendo mais poroso diminui a retração, para além de aumentar a trabalhabilidade [45].

A compactação pode se realizar de forma manual ou mecânica. Pilões, maços ou malhos são as designações das peças de madeiras utilizadas na compactação manual. Mais recentemente desenvolveu-se a compactação mecânica, a qual é realizada com os mesmos moldes tradicionais, diferindo apenas na qualidade e dimensões da cofragem e no meio de compactação que utiliza um compactador pneumático. Essa compactação mecânica reduz o tempo necessário para a compactação devido a maior velocidade, havendo assim uma otimização do tempo da construção [6].

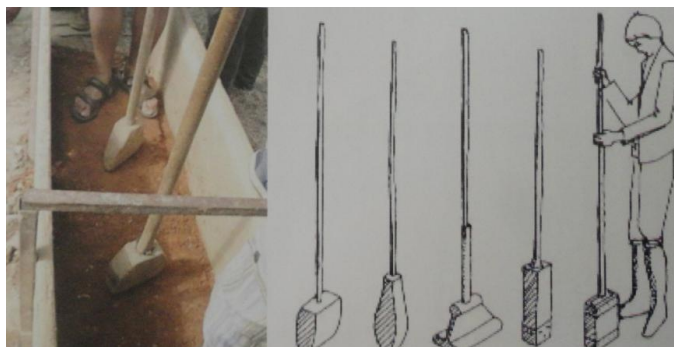


Figura 34 – Compactação manual tradicional da taipa [6]

A cofragem recorre a placas e perfis à base de contraplacado de madeira ou de metal, pode ser ou não amovível conforme as dimensões utilizadas. A seleção da cofragem depende da textura que se pretende obter na parede de taipa. Tijolos cerâmicos, pedras, cortiças ou argamassas nas juntas entre os blocos de taipa são alguns materiais que podem ajudar a reforçar a estabilidade quando a terra não tem as propriedades necessárias [6].

A construção em taipa necessita de pouca quantidade de água para sua execução, por essa razão é encontrada com maior frequência em regiões mais secas. Muitas dessas construções são consideradas património da UNESCO [6].

Blocos de terra comprimidos (BTC):

Esta é uma técnica construtiva que surgiu como evolução do adobe por estabilização do solo por meios mecânicos, na qual o solo é confinado num molde e prensado para obter pequenos blocos de terra mais resistentes e duráveis do que o adobe [6]. São mais regulares em forma e dimensões e mais densos.

Para o BTC, a terra tem consistência húmida e, segundo Barbosa (2002), é recomendado que o solo tenha a seguinte constituição: 50-70% de areia; 10-20% de silte; 1-20% de argila. [6],[51]

A terra é prensada mecanicamente ou manualmente, sendo possível realizar diversos tipos de blocos maciços ou perfurados e placas de revestimento. Enquanto a compactação mecânica, realizada em prensa hidráulica, é mais rápida e apresentam melhores resistências mecânicas. Na compactação manual é requerida mais mão-de-obra e mais tempo de fabrico, mas tem a vantagem de ser mais económica em termos de consumo energético [6].

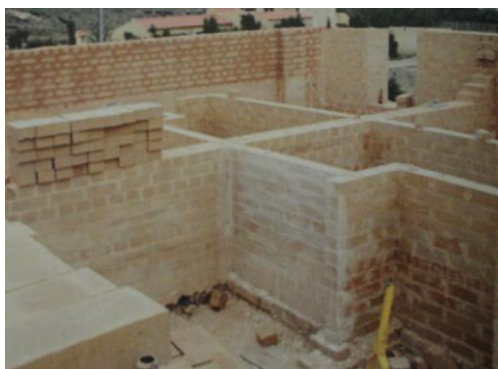


Figura 35 – Construção de alvenaria com recurso a BTC [6]

Com esses tipos de técnicas é possível ter construções bastante resistentes, com rapidez, facilidade de montagem e diminuição da quantidade de resíduos de construção. Além disso é possível a execução dos blocos no próprio local da obra, o que proporciona maior sustentabilidade a construção a medida em que facilita o transporte e evita o transporte desnecessário e economicamente desvantajoso de blocos.



Figura 36 – Edificações em terra em Taos, Novo México [6]

Com a industrialização no século XIX, as técnicas de arquitetura em terra foram aos poucos sendo abandonadas, restando às pessoas de pouco recursos o uso dessas técnicas. Esse é um motivo para o qual existe atualmente um certo preconceito em relação ao uso da terra na construção. Porém, hoje em dia, com a visão ecológica e sustentável começa-se a romper o preconceito e a voltar a ter um novo olhar sobre técnicas vernaculares de arquitetura.

2.3.5. A Pedra

As pedras são rochas, ou seja, um material natural inorgânico formado por um ou mais minerais que constituem parte da crosta terrestre. Mais especificamente, as pedras são rochas no estado sólido e com dimensões macroscópicas. É um dos materiais de construção mais antigos. A sua utilização na construção pode ser feita praticamente sem alteração do seu estado natural, não necessitando de sofisticada tecnologia [52].

As rochas podem ser ígneas, sedimentares ou metamórficas. As rochas ígneas são provenientes do magma, que é consolidado ao arrefecer. O magma pode ser obtido a partir do derretimento parcial de rochas pré-existentes no manto ou na crosta terrestre através de processos da natureza. Já as rochas sedimentares são compostas por sedimentos carregados pela água e pelo vento, enquanto as rochas metamórficas são formadas por transformações físicas e químicas sofridas por outras rochas [52].

A crosta terrestre, camada externa sólida do planeta, divide-se em crosta continental e crosta oceânica, ambas constituídas por rochas. Estudos referem que 95% do volume da crosta continental é composto por rochas ígneas e metamórficas. Os 5% restantes correspondem a rochas sedimentares, as quais estão dispostas mais superficialmente, sobre as camadas de rochas ígneas e metamórficas.

Para proceder ao desmonte dos blocos de pedra nas pedreiras é utilizado processos manuais, explosivos ou meios mecânicos. Os processos mecânicos são os mais utilizados hoje em dia, recorrendo a ferramentas mecânicas que permitem a obtenção de blocos de boa qualidade e com rapidez. Após retirado das pedreiras, os blocos são lavrados manualmente ou com recurso a processos mecânicos, permitindo assim o aparelhamento e o acabamento das pedras [52].

As pedras naturais possuem diversas aplicações na construção civil, além do seu valor estético, podem também ter funções estruturais. Como função estrutural a pedra pode servir na construção de paredes resistentes, fundações, pilares, balastros em vias férreas, enrocamentos em obras portuárias, pavimentos térreos, entre outros. As suas funções não estruturais vão desde revestimentos para cobertura, paredes ou pavimentos à execução de esculturas e outras peças ornamentais.

A durabilidade e a resistência da pedra dependem da sua densidade e da sua capacidade de resistir a erosão [21].

2.4. Arquitetura na Região Tropical

Este capítulo pretende identificar e apresentar aspetos principais da evolução arquitetónica em diversas regiões tropicais, desde a arquitetura vernacular e colonial até a arquitetura atual. Em geral, os países de clima tropical sofreram colonizações de origem europeia e norte-americana, mas antes já habitavam nessas regiões povos mais ancestrais, os quais foram responsáveis pela chamada arquitetura vernacular.

A palavra “vernacular” é derivada do latim “*vernaculus*”, que significa nativo, doméstico, indígena. Associado aos edifícios pode significar “a ciência nativa dos edifícios” [53]. A arquitetura vernacular é todo o tipo de arquitetura que emprega materiais e recursos do próprio ambiente envolvente da construção, caracterizando uma tipologia arquitetónica com carácter local ou regional.

Paul Oliver (2006), considera que a arquitetura vernacular compreende as construções feitas pelas pessoas de acordo com os seus contextos ambientais e as suas fontes de recursos disponíveis [54].

Esse tipo de arquitetura tem significativa influência nas práticas arquitetônicas ao longo da história da humanidade. Le Corbusier foi um arquiteto que buscou inspiração na arquitetura vernacular, acreditando que esta buscava a perfeita harmonia entre as necessidades humanas e o meio ambiente [21].

A arquitetura vernacular toma técnicas de construção transmitidas de geração a geração concebidas através de tentativa e erro, e engloba as habitações mais ancestrais do território, geralmente encontradas em zonas rurais. Esse tipo de arquitetura é bastante primitivo, utiliza materiais existentes na natureza local e é construída sem recurso a técnicos especializados, mas ao mesmo tempo é aquela que possivelmente melhor se adapta aos parâmetros da sustentabilidade e ainda diferencia uma região de outra, transmitindo expressões e linguagens culturais específicas.

Em um único país existem diversas etnias, uma multiculturalidade que determina diferentes usos e costumes de organização do território, e das técnicas, formas e materiais utilizados nas construções. Apesar de serem realizadas com conhecimentos empíricos, essas construções respeitam uma ordem interna fundamentada nos usos e costumes dos diversos grupos étnicos e são capazes de integrar a construção ao meio natural envolvente e as necessidades da tribo [45].

Frente a grande diversidade de culturas e etnias, climas e geografias específicas e materiais de construção disponíveis, é impossível estudar em particular cada tipo de construção vernacular existente no mundo, devido também a precariedade de dados disponíveis. A seguir procurar-se-á abordar as construções mais significativas e que melhor caracterizam de um modo geral a arquitetura vernacular nos diversos continentes de clima tropical.

2.4.1. África

O território africano apresenta zonas bastante degradadas e pobres. Grande parte da população vive em zonas rurais e periféricas, onde infraestruturas de saneamento também são escassas. Os aglomerados são geralmente numerosos e com animais [44]. Os povoamentos desenvolveram-se na sua generalidade de forma espontânea, sem projetos ou planos de desenvolvimento prévios [55].

Os problemas africanos são problemas comuns a maioria dos países tropicais: Condições climáticas específicas, problemas de habitação e urbanismo, como carências habitacionais e de infraestruturas, degradação acentuada de edifícios e falta de identidade urbana.

Há falta de identidade urbana nas principais cidades africanas promovida pela construção livre espontânea. Há problemas também de carência de infraestruturas urbanas, degradação de vários edifícios coloniais e vias de circulação, deficiência no fornecimento de energia elétrica e saneamento básico, desconforto e rápida degradação dos edifícios em geral devido a fatores atmosféricos [45].

Em geral, é possível distinguir três tipos de construção existentes atualmente, as quais são citadas e explicadas na tabela a seguir [26].

Quadro 7 – Classificação das construções [26]

Construção consolidada em espaço urbano	Engloba todo o edificado com caracter não provisório, podendo encontrar edifícios de vários períodos históricos até a atualidade. Varia de região para região de acordo com o desenvolvimento económico, político e administrativo. Depende da existência de políticas adequadas de planeamento urbano e da salvaguarda e recuperação do património. Nas grandes cidades é visível a necessidade de reabilitação de edifícios em mal estado de conservação. Fora dos centros urbanos há carência de habitação para os pobres, enquanto no centro urbano há um boom da construção, principalmente em altura.
Construção não consolidada em espaço urbano	Engloba as construções onde vive grande parte da população africana, em áreas suburbanas, com carência de infraestruturas e apoios básicos. Normalmente é baseado na autoconstrução, sem qualquer projeto. Materiais: Tijolo (adobe, cimento ou cerâmico), pedra e ainda outros materiais reaproveitados. Coberturas geralmente em chapas metálicas simplesmente colocadas sobre as paredes. A dimensão dos vãos é mínima e por vezes sem portas ou janelas.
Construção tradicional	Caracterizado por variedade étnica, possuindo cada grupo características socioculturais particulares e diferentes entre si. No entanto os materiais e soluções construtivas não diferem muito dentro de uma mesma região, uma vez que são encontrados nas próprias regiões: paus, caniços, colmo, madeira, adobe, pedra, entre outros. Maioritariamente localizadas no espaço rural.

A arquitetura vernacular africana apresenta uma grande variedade de materiais e culturas, adaptados a diversos contextos ambientais e climáticos. Para o estudo da presente dissertação serão abordados casos exemplificativos da arquitetura vernacular em diversas regiões africanas: norte, ocidental e centro-sul.

Norte da África

O norte da África divide-se em clima desértico a sul e clima mediterrânico a norte. Por exemplo na Líbia, o sul do país apresenta clima quente e seco, com grandes diferenças de temperaturas diárias, o que leva os materiais de construção tradicionais apresentarem elevada massa térmica, portanto elevada inércia térmica para manter a temperatura no interior dos edifícios mais frescas durante o dia quente e mais quentes durante a noite fria [53].

Nesta região de clima seco, os edifícios também apresentam chaminés, não para o fogo, mas para evacuar o ar quente do interior dos edifícios. Além disso as janelas e aberturas são pequenas para evitar a entrada direta de calor durante os dias quentes, mantendo a temperatura de conforto no interior. É de notar também que as aberturas para ventilação são preferencialmente nas zonas mais altas das paredes, de forma a receber um ar exterior mais limpo, evitando receber o ar de cotas mais baixas pois esses carregam muita poeira [53].



Figura 37 – Edifícios construídos em terra na Líbia [53]



Figura 38 – Abertura nas chaminés para evacuar o ar quente do interior [53]

É comum o norte africano possuir suas construções tradicionais em adobe ou pedra, pois como referido anteriormente, são materiais com elevada inércia térmica e adequados aos climas que apresentam grandes amplitudes térmicas diárias. São também materiais facilmente encontrados no território. A figura a seguir exemplifica construções em terra no Marrocos. Apresentam janelas pequenas de modo a evitar o máximo a penetração da radiação solar, a qual é bastante intensa nas regiões de clima quente e seco.



Figura 39 – Aldeia no Marrocos [62]

A adaptação ao clima nessas regiões quentes e secas leva a organização espacial das cidades históricas terem ruas com edifícios muito próximos entre si. Dessa forma um edifício é capaz de proporcionar sombreamento ao edifício vizinho e menor será a área de construção exposta diretamente a radiação solar.

É comum encontrar edifícios com 1 ou mais pisos [56]. Além da proximidade entre os edifícios, a construção em altura também é favorável. Edifícios altos proporcionam maior sombreamento com maior densidade populacional. A figura a seguir exemplifica, numa cidade em Marrocos, o que foi referido neste parágrafo.

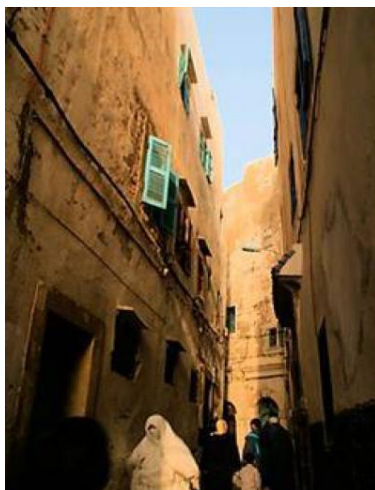


Figura 40 – Ruas sombreadas e estreitas em Marrocos [62]

África Ocidental

Serão tomados como exemplos da África Ocidental dois países de colonização portuguesa: Cabo Verde e Guiné-Bissau. As ilhas de Cabo Verde apresentam clima tropical quente e seco, enquanto Guiné-Bissau apresenta clima essencialmente quente e húmido.

Começando por Cabo Verde, a arquitetura do país é caracterizada da seguinte forma [57]:

- ➔ Arquitetura Vernacular: Pedra vulcânica, com paredes de alvenaria de pedra de junta seca (materiais maciços que conferem grande inércia térmica aos edifícios) e cobertura de colmo (bom material isolante, que protege contra ganhos solares).



Figura 41 – Habitação vernacular caiada de branco em Cabo Verde [44]

A solução construtiva tradicional é geralmente de paredes de pedra basáltica de junta seca com espessura de cerca de 40 centímetros. As paredes interiores são geralmente rebocadas e caiadas, e a fachada exterior é caiada a cor branca diretamente sobre as pedras. Portas e janelas são construídas com lintéis de madeira. As dimensões das habitações são normalmente 7x3 m² ou 9x4 m², sendo divididas em quarto principal e sala multifunções. A grande maioria das atividades é desenvolvida no exterior da habitação, com ou sem quintal. A cobertura é quase sempre inclinada de duas águas e revestida de colmo [57].

Toda essa região apresenta, quase todos os dias, céu limpo com forte insolação. A proteção contra o excesso de ganhos solares é fundamental, desta forma a caiação das fachadas exteriores a branco é um meio de diminuir a absorvidade de energia solar, uma vez que superfícies claras absorvem menos energia. A cobertura de colmo, por sua vez, proporciona bom isolamento. Enquanto a escassez de aberturas nas fachadas é uma estratégia para evitar a entrada de ar quente exterior para o interior das habitações.



Figura 42 – Habitação vernacular em Cabo Verde: pedra e cobertura de colmo [44]

→ Arquitetura colonial: Pedra (muitas vezes calcário) ou tijolos importados e argamassa (argila e areia) e cobertura de telhas cerâmicas ou madeira ou fibrocimento nos últimos anos.



Figura 43 – Edifício da época colonial em Cabo Verde [44]

Uso de portadas que proporcionam sombreamento às janelas e direcionam o fluxo de ventilação natural.

A construção colonial é herança das tendências provenientes da arquitetura portuguesa, onde se destaca dois tipos: um irregular, típico das regiões mediterrâneas e adaptadas a topografia e outro mais regular e rígido no seu traçado. Em geral são sobrados (casas de 1 andar, com habitação no piso superior e lojas ou locais de depósito no piso térreo) ou casas de piso térreo com logradouro, pé direito elevado, varandas superiores salientes, janelas grandes e palas para sombreamento dos vãos, que proporcionam uma preocupação adicional contra o calor e a promoção da ventilação interior [57],[58].

Em Cabo Verde, a escassez de pedras de cantaria, de madeira e de telhas foi um problema encontrado pelos colonizadores nos primeiros séculos de povoamento. Havia abundância de pedras vulcânicas na ilha, como o basalto, mas esse não era um material de construção de utilização dominada, pois a dureza desta rocha torna difícil o talhamento para cantarias. Nesse contexto, houve grandes importações de madeira na 1ª década do século XVI [57].

As construções em terra eram de domínio tanto dos portugueses quanto dos africanos, mas não se enraizaram em Cabo Verde, talvez devido a escassez de argila do solo. A utilização de palha limitou-se praticamente a cobertura [57].

Os edifícios monumentais em Cabo Verde requeriam a importação de pedras de cantaria, telhas e todo o madeiramento. Mas com a decadência comercial e a crescente necessidade de habitação determinou a progressiva utilização de materiais locais, como o basalto. Os tijolos cerâmicos importados eram utilizados apenas nos edifícios de grande importância. Já a cobertura utilizava geralmente telhas cerâmicas ou madeira, ambos importados. As casas populares eram normalmente de pedra de junta seca ou de terra (argila e areia) e com coberturas de palha e folhas de carrapato. Até finais do século XX, as construções pouco evoluíram em Cabo Verde [57].

- Arquitetura contemporânea: Edifícios de betão armado com elementos estruturais, paredes de blocos de cimento e cobertura de betão armado ou telha cerâmica. Dentro desta arquitetura contemporânea pode-se distinguir: moradias unifamiliares e moradias multifamiliares.

Moradias unifamiliares:

Nos bairros “informais” o método de construção é empírico, não obedecendo a qualquer modelo de cálculo. São usualmente casas de piso térreo com cobertura plana, que pode ser aproveitada para guardar materiais. As paredes são de alvenaria simples de blocos de cimento assentes sobre muros de fundação em pedra, com argamassa de cimento e areia, revestidos ou não com argamassa, conforme o poder económico das famílias. Os blocos de cimento são muitas vezes de pouca qualidade, podendo ser fabricados de forma artesanal junto ao próprio edifício a construir, ou mesmo que fabricados industrialmente podem não ter grande controlo de qualidade [58].

Nos bairros nobres é comum a construção de moradias duplex, com zonas de dormir e varandas ou terraços no andar superior. Nessas construções as paredes são de blocos de cimento assentes sobre muros de fundação e travadas por meio de pilares, lintéis e lajes de betão armado. A fundação é normalmente executada sobre leito de pedra arrumada à mão (enrocamento), sobre o qual se lança uma camada de betão armado (massame). Há predominância de lajes maciças em

betão armado. Os acabamentos utilizados dependem do gosto e poder económico das famílias, na maioria das vezes há pintura nas fachadas e nas paredes interiores barramento de estuque e pintura, nos sanitários e cozinha uso de azulejos. No pavimento há grande adesão ao uso de mosaicos cerâmicos, já o uso da madeira tem sido abandonado devido ao custo e cuidados de manutenção [56]. Nota-se muita preocupação com a estética e influência europeia, preocupando-se pouco com a adequação à realidade local, apresentando muitas fachadas suscetíveis à ação do sol [57].

Moradias multifamiliares:

Presentes nos centros das cidades ou em grandes zonas urbanas. Geralmente com piso térreo destinado a comércio ou escritórios. A estrutura resistente em betão armado e paredes de alvenaria de blocos de cimento, assentam sobre sapatas de fundação. A estrutura é constituída por pilares, vigas e lajes e eventualmente paredes. As paredes são rebocadas com argamassas de cimento e areia e com acabamentos diversos: pintura, mosaico, azulejos, etc.

→ Ecoturismo: Uso de materiais naturais como o basalto e o colmo. Formas dos edifícios se baseiam na arquitetura vernacular.

O ecoturismo pretende a proteção e preservação dos recursos naturais e construídos, valorização económica e participação da população local integrados com o turismo, fatores que privilegiam a sustentabilidade local. Tem elevado interesse cultural, ambiental e histórico.



**Figura 44 – Pousada projetada por Álvaro Siza na Ilha de Santiago, Cabo Verde [44]
Uso de materiais existentes no local, com forte inércia térmica (pedra e betão).**

Também localizado na África ocidental, Guiné-Bissau possui sua cultura e sociedade marcadas pelas características dos principais grupos étnicos, e sua economia assenta-se na agricultura. Rochas, como xistos argilosos, grés, doloritos e formações lateríticas, são encontradas na região. Também a madeira é abundante devido a riqueza local em espécies florestais [45].

Na arquitetura vernacular de Guiné-Bissau, a disposição das habitações dentro de cada grupo étnico era influenciada pela sua tradição agrícola, pastoreia ou de pesca. Aqueles grupos que se dedicavam a agricultura apresentavam suas habitações mais dispersas uma das outras, pelos campos e pântanos, do que aquelas que se dedicavam a pesca e que apresentavam suas habitações mais concentradas e junto ao litoral [45].

Pode-se também definir as seguintes tipologias arquitetônicas para Guiné-Bissau [45]:

→ Arquitetura vernacular: Paredes de taipa ou adobe e cobertura de colmo.



**Figura 45 – Habitação tradicional de Guiné-Bissau [45]
Parede de taipa ou adobe e cobertura de colmo.**

São soluções construtivas simples, inspiradas na segurança, no conforto e em crenças religiosas, património de valor cultural, construídos com conhecimento empiricamente adquiridos e essencialmente localizados em zonas rurais. Na terra são normalmente misturados materiais vegetais, como bambu, folhas de palmeira ou palha, para aumentar a resistência das paredes em terra maciça ou blocos de adobe. A cobertura em colmo tem uma armação que pode ser feita em bambu partido, canas, paus ou troncos de palmeira.

Ao analisar a figura 45, exemplificativa da construção vernacular em Guiné-Bissau, é possível concluir algumas estratégias bioclimáticas desenvolvidas. A caição das paredes a branco é um meio de diminuir a absorção de energia solar. A utilização da cobertura em colmo bastante inclinada favorece o escoamento das águas das chuvas. Ainda relativamente a cobertura, a sua elevada altura permite manter maior conforto térmico no interior da habitação, permitindo melhor ventilação interior. A altura da cobertura permite que o ar quente no interior das habitações, o qual é menos denso que o ar mais frio e portanto sobe, fique a cotas maiores.

→ Arquitetura colonial: Pedra ou tijolos importados e argamassa, mas também blocos de terra eram muito utilizados, em adobe ou taipa. Cobertura de telhas cerâmicas ou madeira, ou fibrocimento nos últimos anos.

Esses edifícios coloniais foram construídos a partir de elementos de desenho e com intervenções de técnicos especializados. São moradias construídas no período de administração portuguesa no centro das principais cidades. Abarcam diferentes estilos, elementos formais e técnicas construtivas, mas têm características típicas das principais cidades que passaram pela colonização portuguesa. Normalmente são habitações de pé-direito elevado e varandas largas. Algumas são de 1 piso, onde o rés-do-chão é destinado ao comércio.



Figura 46 – Habitação colonial em Guiné-Bissau: uso da telha cerâmica [45]

A adaptação das construções europeias ao clima tropical foi sentida principalmente com a introdução de varandas, de coberturas mais extensas e de grandes janelas e portas. As varandas são estratégias arquitetônicas que permitem maior sombreamento das fachadas, assim como o prolongamento da cobertura. As varandas também favorecem o convívio social e proporcionam espaços exteriores agradáveis, podendo também ajudar na ventilação natural. É de notar também a predominância das cores claras nas fachadas exteriores e a introdução de palas e portadas de sombreamento.

- ➔ Contemporâneo: Elementos estruturais de betão armado, paredes de tijolos cerâmicos ou blocos de betão e cobertura de telha. Nas moradias sociais é comum encontrar paredes de adobe reforçado e coberturas de zinco.
- ➔ Ecoturismo: Uso de materiais naturais, como a terra, a madeira e o colmo.



Figura 47 – Construção para ecoturismo em Guiné-Bissau [45]

Característica	Descrição	Tipologias			
		Vernacular	Colonial	Contemporânea	Ecoturismo
Tipo de inserção	Rural	■	■	■	■
	Urbano		■	■	
	Periurbano	■	■	■	■
Materiais de parede	Taipa	■			■
	Adobe	■	■		
	Adobe reforçado	■	■	■	■
	Blocos de betão		■	■	
	Tijolo		■	■	
Materiais de cobertura	Colmo	■			■
	Zinco	■	■	■	
	Aluzinco			■	■
	Fibrocimento		■		
	Telha		■	■	
	Betão		■	■	
Promotor	Público		■	■	
	Privado		■	■	■
	Cooperativa			■	
	Autoconstrução	■			
Tipo de uso	Unifamiliar	■	■	■	■
	Colectiva	■	■	■	■
	Administrativo		■	■	

Figura 48 – Classificação das tipologias arquitetónicas de Guiné-Bissau [45]
As casas a cinzento indicam ocorrências que não correspondem a situação mais típica ou mais usual

Luiz Possolo foi um arquiteto que trabalhou em vários projeto que aptavam a arquitetura ao clima. No seu projeto para a Praia de Varda, em 1955, procurou estratégias que estimulassem a ventilação transversal e a proteção solar através de grelhas cerâmicas ou elementos verticais de tijolo. Utilizou a cobertura em fibrocimento composta por duas águas desencontradas, de forma a favorecer a ventilação e proporcionando a saída de ar quente do interior das habitações. Já no projeto de uma esplanada para Bissau, em 1959, Possolo integra técnicas construtivas em madeira e colmo, influenciado pelos sistemas construtivos tradicionais [59].



Figura 49 – Esplanada de Possolo em Guiné-Bissau [59]

A esplanada de Possolo, figura 49, é um exemplo sustentável de arquitetura atual que integra conceitos da arquitetura vernacular. Há opção por uso de materiais naturais da região e toda uma arquitetura adaptada ao clima. A extensa cobertura protege a construção e os ocupantes das radiação solar e das águas da chuva. O espaço aberto favorece a ventilação e o controle da humidade no espaço. Estruturas sombreadas, que estimulem francamente os movimentos do ar, como espaços cobertos, mas não completamente encerrados, são de grande funcionalidade nesses climas. Outros bons exemplos são os cinemas ao ar livre.

Já em outras regiões da África Ocidental, localizadas mais no interior, de clima quente e seco, é favorável a construções fachadas com materiais pesados. As figuras a seguir exemplificam construções típicas existentes em Burkina Faso e no Senegal, respetivamente. É de notar pequenas aberturas nas paredes, as quais permitem a ventilação e iluminação, mas evitam a entrada de radiação solar excessiva.

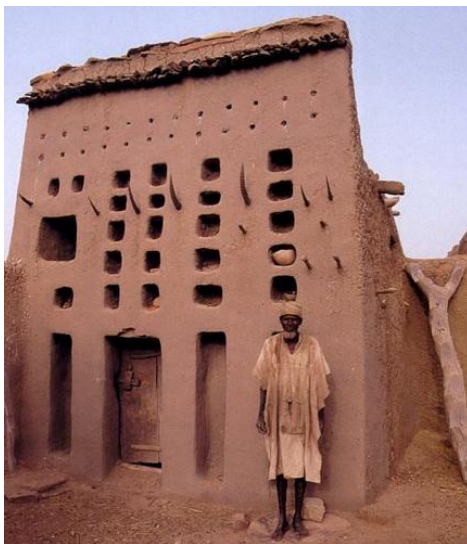


Figura 50 – Construção em terra em Burkina Faso [60]



Figura 51 – Habitação em terra com cobertura de colmo, no Senegal [60]

África Centro-Sul

No centro-sul africano tem-se o exemplo de Luanda, capital da Angola, país de clima tropical essencialmente quente e húmido. Como é habitual, as construções tradicionais estão maioritariamente nas zonas rurais. Os materiais de construção mais utilizados são bastante variados, como: paus, caniços, colmo, madeira adobe e pedra. Esses materiais são facilmente encontrados por todo o território angolano e são os materiais mais utilizados na arquitetura vernacular existente no centro-sul africano [55].



Figura 52 – Exemplo de arquitetura vernacular em Angola [26]

Com a chegada dos colonizadores portugueses à África, o assentamento urbano em Luanda iniciou-se ao longo da baía. Apresentava na cidade baixa casas junto a praia, com função mista de comércio e residência. Já na parte alta da cidade as construções eram com função única de residência, para pessoas com mais posses. Nos primeiros tempos as construções eram feitas com materiais locais, como adobe e palha, e muitas tinham condições precárias [61].

Atualmente, a cidade de Luanda é bastante densa e sobrelotada devido ao crescente movimento migratório. Grande parte da população vive em áreas urbanas “informais”, não consolidadas, principalmente na periferia das grandes cidades, onde se encontram edificações precárias, sem qualidade e de baixa durabilidade. Há nessas áreas uma grande carência de infraestruturas de apoio básico, formando focos de insegurança social. As habitações existentes são normalmente feitas por autoconstrução executada pelos próprios moradores com ajuda de amigos e familiares, e sem qualquer projeto. Os materiais mais utilizados são tijolos (de adobe, cerâmico ou cimento), pedra e outros materiais diversos reutilizados. Para coberturas é usual chapas metálicas simplesmente colocadas sobre as paredes. Por vezes os vãos não têm portas ou janelas e as divisórias são mínimas em quantidade e dimensão [55].



Figura 53 – Bairro “informal” em Angola [26]

Na Zâmbia, país vizinho a Angola, as construções também são bastante variadas. A figura a seguir exemplifica a adoção de formas retangulares, com cobertura em colmo e paredes em madeira, as quais permitem suficiente iluminação e movimentação do ar [56].



Figura 54 – Habitação vernacular típica da Zâmbia [56]

Já nas regiões mais a sul da África, com clima temperado, a tradição de construção vernacular foi normalmente a base do uso da terra ou pedra para as paredes e palha (colmo) para a cobertura, com aberturas entre a parede e a cobertura para permitir uma melhor circulação do ar [53]. Alguns destes exemplos são as construções no Zimbabwe, as quais tipicamente têm formas circulares e cobertura em forma cônica com cerca de 1,65 metros. Uma habitação para 2 pessoas tem cerca de 2,5 metros de diâmetro [56].



**Figura 55 – Habitação vernacular no Zimbabwe:
Paredes em terra e cobertura em colmo [53]**



**Figura 56 – Habitação vernacular no Zimbabwe:
Paredes em terra e cobertura em colmo [56]**

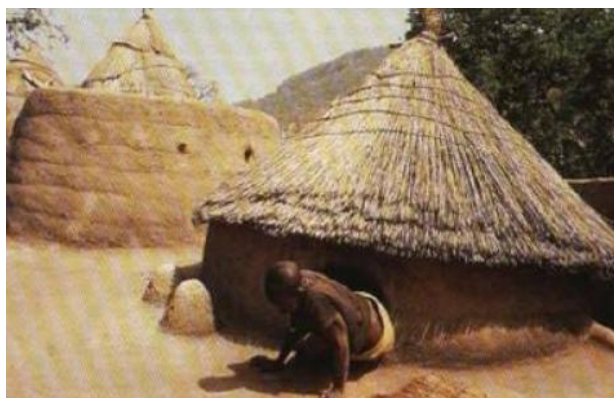


Figura 57 – Construção em forma circular em clima quente e seco na África [62]

Moçambique, também localizado no centro-sul, mas voltado para o lado oriental da África, apresenta maior área de território com clima mais seco do que a Angola. A arquitetura vernacular de Moçambique utiliza materiais maciços na envolvente das habitações, como o tijolo de adobe, taipa e pedra. O colmo é utilizado na cobertura [3].



Figura 58 – Arquitetura vernacular em Moçambique [3]

É de notar a preocupação de proporcionar sombreamento as fachadas, por meio de prolongamento da cobertura e, se possível, por meio de aproveitamento das sombras fornecidas por

árvores. Na generalidade das construções vernaculares de toda essa região é comum também a construção de fachadas sem janelas. A ventilação é proporcionada por folgas entre a parede e a cobertura e por espaços entre os materiais, em caso de materiais leves. Em Moçambique é usual formas de plantas retangulares e coberturas de 4 águas.



Figura 59 – Arquitetura vernacular em Moçambique: sombreamento [3]

A raiz cultural da ocupação de Moçambique é de povoações de baixa densidade populacional, o que torna por vezes inviável a instalação de infraestruturas e serviços urbanos em todas as áreas em que há construções, além disso, aumenta as distâncias a percorrer para o trabalho e para as diversas atividades urbanas, criando zonas segregadas. Nos bairros de renda mais elevada já existem construções em altura e, portanto, com maior densidade populacional. A construção atual nesses bairros é em betão e tijolo [3].

Como a generalidade dos países africanos, Moçambique não produz grande parte dos materiais e equipamentos de construção, não tem adequada rede de estradas e ferrovias, não está bem equipado em meios de transporte, não tem distribuição equitativa das poucas unidades produtivas dos materiais de construção e não tem uma rede de comercialização dos produtos bem distribuída geograficamente. As empresas de construção localizam-se preferencialmente nos grandes centros urbanos, elevando os custos de construção nas áreas mais distantes, os quais já são bastante elevados. Por esse motivo, a maioria das habitações ainda é construída pelos próprios moradores, o que significa que possuem baixa tecnologia e inviabiliza a construção em altura [3].

Atualmente algumas construções rurais seguem tipologias tradicionais, principalmente no que toca a forma, mas são modificados alguns materiais utilizados, o que por vezes é suficiente para reduzir o conforto e a qualidade sustentável da construção. Por exemplo o uso de chapas metálicas na cobertura sem qualquer isolamento pode levar ao sobreaquecimento da habitação [55].

A habitação “informal” em Moçambique geralmente era construída com recurso a materiais naturais, como madeira de mangal e outras, fibras e resinas naturais, folhas e entrelaçados de coqueiros e palmeiras bravas, entre outros. Mas o uso desses materiais evoluiu para materiais mais duráveis, como a terra, a pedra, a argamassa, o revestimento de cal e a cobertura em telha, folha zincada ou fibrocimento. Em cidades como Maputo, os “bairros de caniço” foram evoluindo para o uso de madeira e zinco.



**Figura 60 – Habitação de baixa renda na periferia de Moçambique.
Caniço (plantas do gênero *Typha*) e chapas de zinco.
[Fonte: http://as-veredas.blogspot.pt/2007_05_01_archive.html]**

A aspiração de melhoria das condições de habitação, principalmente após a independência, e a escassez cada vez maior de materiais vegetais naturais deu origem a uma rápida evolução da arquitetura para o uso de materiais modernos, como o cimento. Mas há ainda muitos exemplos de construções feitas em caniço e folha zincada em Maputo, assim como com madeira e palha [59].

A Evolução das construções no território africano: O caso das colónias portuguesas

No continente africano as técnicas de construção e arquitetura evoluíram a partir do processo de colonização, iniciada na época de expansão europeia no século XV [57]. O modelo de colonização seguido na África durou até a 2ª Guerra Mundial, salvo raras exceções [61].

O desenvolvimento urbano da África foi lento. Guiné-Bissau, ainda em oitocentos, apresentava uma fisionomia urbana muito simples, com poucas casas, a maioria era com cobertura de colmo e algumas poucas eram de dois pisos com cobertura de telha. Atualmente ainda é um país pequeno e pouco desenvolvido. No mesmo contexto oitocentista, a cidade de São Tomé, a mais antiga das ilhas de São Tomé e Príncipe, apresenta também simplicidade. Cerca das 900 casas existentes na cidade eram de madeira mal trabalhada com cobertura de telhas, as quais eram fabricadas na ilha do Príncipe. Geralmente eram casas apenas de piso térreo, mas existiam algumas poucas de dois pisos [61].

Em Moçambique, Maputo nos anos 1880 assistia a construção de edifícios, em regra de um só piso, de madeira e zinco, com influências de arquiteturas do colonialismo inglês e holandês. Nos anos de 1950 assiste-se o repensar da cidade numa ótica de atribuir vocação a cada zona. Este corresponde a uma densificação dos quarteirões pré-existentes em área e em volume, passando a atingir os 5 pisos [61].

Também Luanda cresceu e enriqueceu com o aparecimento de uma arquitetura doméstica que a desafiar o clima alterou a sua tipologia arquitetónica tradicional. A pedra e a cal substituíram o adobe e palha. Grandes sobrados e palácios, construídos no final do século XVIII foram desenhando as ruas e ocupando quarteirões inteiros [61].

O desenvolvimento dos países africanos foi muito dependente de outros países. Luanda foi exemplo de uma cidade de crescimento dependente das crises políticas de Portugal e do Brasil e das suas próprias. Até 1836, com a abolição da escravatura no Brasil, Angola era um forte exportador de escravos para terras brasileiras. Após o término dessa atividade económica muitos habitantes abandonaram a cidade de Luanda. Depois de alguns anos de estagnação económica, nos finais do século XIX houve um surto de desenvolvimento no país [61].

A generalidade das cidades africanas sofre também com a falta de organização espacial urbana. Em Luanda, a organização do espaço nunca foi de forma efetiva uma preocupação para as autoridades municipais. Só em meados dos anos 1930 é que se tomou consciência da desordem urbana e então tentou-se regular a cidade através de planos reguladores, mas de apenas implantações pontuais. Os problemas foram se acumulando com o crescimento habitacional e atualmente Luanda ainda cresce de forma desordenada como nos anos 30. Os planos reguladores continuam a não existir e apenas são implementadas algumas estratégias pontuais. Os instrumentos legais são de difícil aplicação devido a extensão do território e a falta de quadros qualificados [61].

Durante a ocupação portuguesa nas colónias africanas, os povoamentos localizavam-se inicialmente junto a baías abrigadas servidas por uma ou mais ribeiras [59]. Por exemplo nas ilhas de São Tomé e Príncipe, o povoamento deu-se inicialmente a volta das múltiplas baías, tendo posteriormente progredido para o interior. Também nesse país o crescimento demográfico e o abandono de pequenas povoações interiores acentuaram a pressão não planeada sobre os centros urbanos, por exemplo na cidade de S. Tomé, causando o surgimento de novos bairros sem infraestruturas e com grande carência de equipamentos urbanos [61].



Figura 61 – Vista aérea de S. Tomé em 1960 [61]

Países como Moçambique e Angola desenvolveram-se muito entre as décadas de 1930 e 1970 [63]. O surto da urbanização em África ocorreu na década de 1945-1955, com o desenvolvimento de infraestruturas administrativas, aceleração da industrialização, desenvolvimento de portos, infraestruturas sanitárias e vias de comunicação. Os anos seguintes do pós-guerra e as dificuldades económicas sentidas na Europa causaram uma redução do crescimento urbano, as quais foram ultrapassadas a partir dos anos 60 [61].

Em Angola e em Moçambique, nos anos 1930-1940, pode-se destacar algumas obras modernistas com formas mais ou menos puristas e abstratas. Na década de 1940-1950, os edifícios apresentam arquitetura fraca e explicitamente mais tradicionalistas. Já a transição das décadas de 1950-1960 surge uma arquitetura mais geométrica, mais próxima das formas industriais e modulares e com mais modernidade. Os edifícios residenciais com padrões de desenho renovadores inspiravam-se nas obras de Le Corbusier, alguns apresentando fachada de *brise-soleils* verticais e varandas laterais com grelhagens. O modelo “cidade-jardim” também tornou-se muito utilizado em algumas regiões [63].

Na década de 1950 sente-se em Angola e Moçambique uma profunda diferença por comparação entre as duas décadas anteriores. Nos anos de 50, uma nova fase dinâmica surge. Conflitua-se o “moderno-tradicional”, por via da nova geração de arquitetos vindo da Europa. Nessa década, a situação da ditadura política de Portugal levou a migração de jovens arquitetos portugueses para África, principalmente para Angola e Moçambique, pois estas eram as colónias mais atrativas da África e eram mais próximas do que as colónias da Ásia (Índia, Macau, Timor). A escassez de arquitetos fazia da África uma terra de oportunidades [63].

Liberdade é a ideia expressa nas obras construídas nos países africanos de língua portuguesa desde o início da década de 50. Os jovens arquitetos portugueses afirmavam em suas obras a modernidade, distante dos modelos arquitetónicos existentes na metrópole portuguesa. Essa nova geração foi formada nas escolas de Belas Artes de Lisboa e do Porto, e assume uma nova consciência social, étnica e política. Procuravam alicerçar a ideia de arquitetura internacional segundo premissas do Movimento Moderno, essencialmente de matriz corbusiana [59].

Porém, mesmo sendo trabalho realizado por arquitetos provenientes de uma mesma geração e mesma escola, há diferenças presentes entre a arquitetura de Moçambique e a de Angola. Enquanto Angola era mais dependente da metrópole portuguesa e também possuía maior articulação com os meios populares, a arquitetura de Moçambique era mais autónoma e ligada ao mundo anglófono da vizinha África do Sul e ainda era mais interligada com uma “elite” de classe média. Angola apresenta forte influência, ou mesmo dependência, dos arquitetos de escolas portuguesas, relacionando-se profundamente com linguagens, estilos e modas da metrópole portuguesa entre 1930 a 1970 [63].

No século XIX, o betão armado e os novos materiais e tecnologias construtivas provocaram a rutura entre a tradição construtiva do passado e a arquitetura moderna. Deu-se uma nova linguagem racionalista e funcionalista à cidade. Em Luanda, a partir do final da década de 50, inúmeras obras recorrem ao modelo de edifício de habitação em altura assente sobre pilares em betão armado e servido por galerias exteriores ou parcialmente encerradas por grelhas. São edifícios de transição entre os modelos internacionais de clareza funcional corbusiana e a subversão desse modelo com o contexto do lugar onde se insere [59].



Figura 62 – Edifício em Luanda no final da década de 50 [59]

Desde então, produz-se uma arquitetura moderna e internacional, com referências sobretudo na arquitetura brasileira. A dimensão do território e as semelhanças geográficas e climáticas são responsáveis por essa aproximação africana à arquitetura brasileira. Elementos como grelhas *brisé-soleils*, caixas salientes e palas de sombreamento, edifícios sobre pilotis e galerias ao ar livre, entram em cena na arquitetura africana. As técnicas universais dessas construções de matriz corbusiana são o aço e o betão armado, mas a preocupação climática é visível. O sol incide segundo ângulos variáveis nas diversas superfícies terrestres e o *brise-soleils* é a estratégia de adaptação solar do edifício [59].

A partir de meados do século XX, o aumento populacional alterou o desenho da cidade, causando um crescimento caótico, não projetado nem planeado. Provocou o aparecimento de um setor marginal e precário, que escapa do controlo público, caracterizando a cidade por grupos sociais heterogêneos e com diferentes estágios de urbanização. Nas margens das cidades africanas expande-se um modelo de ocupação periférico e não planeado. O centro urbanizado distingue-se claramente das periferias [61].

Em Moçambique, 80% das habitações são “informais”, sem qualquer registo de propriedade. Cerca de 5.760.000 pessoas vivem em condições precárias com carência de infraestruturas. Na América Latina essa fragmentação da cidade é também um atual desafio. No Brasil o programa Favela-Bairro procura legalizar e regularizar a situação dos assentamentos informais [61].

Atualmente a globalização está a reestruturar as cidades, a modificar o desenho, quer pelas novas formas de produção, quer pelos novos meios de comunicação. Afeta também os hábitos sociais, diminui a dimensão do núcleo familiar, muda comportamentos e até as formas de habitar [61].

2.4.2. América

A arquitetura indígena no continente Americano é o resultado da evolução de centenas ou milhares de anos de interação entre o homem e o ambiente no qual vive, proporcionando a sobrevivência sem necessidade de recorrer a meios de condicionamento artificial. É uma arquitetura vernacular, desenvolvida pelos próprios ocupantes, com material local, formas e estruturas que não destoam com o meio ambiente [64].

América do Sul

Ao estudar a América do Sul, depara-se com climas bastante diferentes. O Brasil, por exemplo, do Norte de Roraima até ao estado de São Paulo possui clima tropical, no qual a variação de temperatura entre o dia e a noite é superior à variação de temperatura entre o período mais frio e o período mais quente do ano. Em grande parte do território a humidade e o calor são os principais elementos climáticos a ter em atenção para a obtenção do conforto nas construções. A arquitetura indígena regional responde a essa questão com uso de estruturas leves e permeáveis ao ar, que permitem a retirada do calor em excesso do interior das habitações e, principalmente, remove a humidade, a qual pode ser responsável por aparecimento de mofo e bolor [64].

Em relação a arquitetura existente na América do Sul, há uma grande variedade de tipologias e métodos construtivos utilizados, visto haver inúmeras etnias e climas diferentes. Será aqui abordado principalmente informação relativa a arquitetura encontrada em território brasileiro, a qual acredita-se ser razoavelmente exemplificativa das construções encontradas na região.

No Brasil, as tribos indígenas nativas construíam suas habitações, chamadas de “ocas”, conforme os costumes da sua tribo. As formas das habitações são diversas, como retangulares, elípticas ou circulares, e são de uso comum, geralmente sem divisórias internas e com capacidade de abrigar até centenas de pessoas. O tamanho depende da dimensão da tribo, podendo chegar até 200 metros de comprimento, porém o mais usual é que não passe de 150 metros de comprimento e 12 de largura [64].

O número de ocas varia de tribo para tribo, mas todas estão dispostas de modo a formar cerco a uma praça central. A estrutura das ocas é geralmente de madeira coberta com palha ou folhas de palmeira. Essa arquitetura ainda é comum entre os povos indígenas, mas não exerceu qualquer impacto significativo na tradição arquitetónica brasileira [64].

É de notar que o afastamento espacial entre as construções é favorável ao clima tropical húmido, uma vez que a movimentação do ar é fator fundamental para obtenção do conforto. Além disso a proximidade das habitações às árvores é também benéfico, uma vez que permite aproveitar o sombreamento e uma brisa mais refrescante.

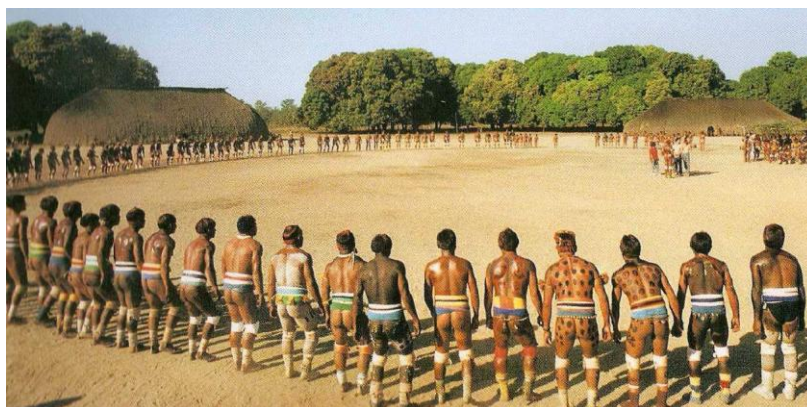
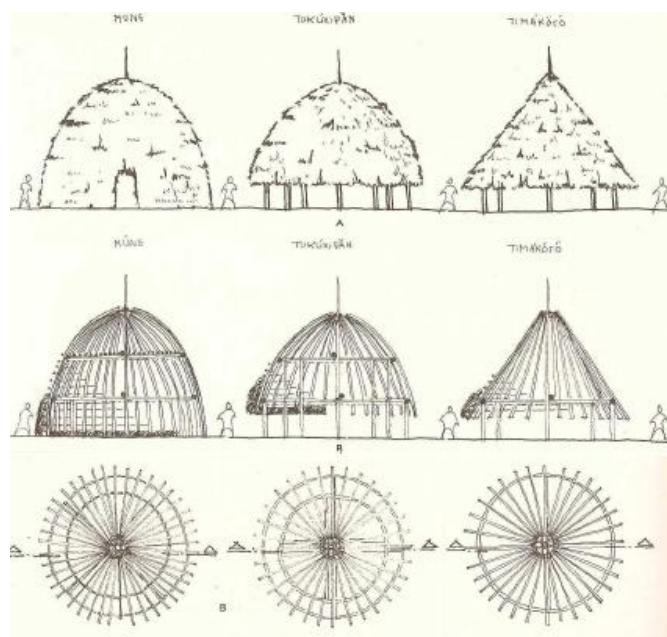


Figura 63 – Construções dos índios sul-americanos: dispostas de modo a formar uma praça central [64]

Geralmente as técnicas construtivas e materiais de construção empregados se assemelham entre as tribos brasileiras. O que difere são, por vezes, as formas das construções e a adaptação tecnológica que a tribo sofreu em relação a região climática em que está inserida. Há diferentes disponibilidades de recursos e condições meteorológicas que diferem e que ditam a forma e o emprego da tecnologia.

Com resposta ao clima tropical húmido, por exemplo na Amazônia, as habitações vernaculares apresentam estruturas totalmente abertas, garantindo a circulação do ar e a eliminação da humidade. Ao passar para a parte meridional da Amazônia, zona de clima mais seco, as construções vão registrando um progressivo fechamento para suavizar a temperatura ambiente durante os períodos de maior calor. Nessas regiões mais secas as construções são também mais compactas, de forma a proporcionar melhor proteção contra o frio noturno. Nas regiões montanhosas o frio noturno também influencia o fechamento das habitações, que em casos extremos podem assumir formas de habitações subterrâneas [64].



**Figura 64 – Exemplos de ocas da tribo indígena brasileira Tsimané [64]
Plantas circulares e coberturas com formas cónicas e em forma de cúpula**

A construção das habitações indígenas brasileiras não requer muito tempo. Nas tribos indígenas, a *maloca* é uma grande casa comunitária, e sua construção leva apenas cerca de três meses, através de trabalho comunitário realizado artesanalmente pelos membros [64]. Em geral é comum a utilização de madeira e folhas de palmeira. O uso de formas cônicas e circulares melhora a ventilação natural, juntamente com uso de elementos leves que não provocam uma barreira contínua a construção.

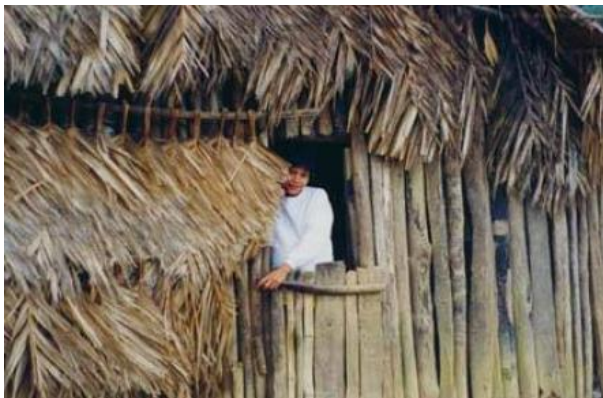


Figura 65 – Uso de materiais leves na América do Sul [62]

As construções mais encontradas em tribos indígenas no Brasil são primeiramente casas de palha, em segundo lugar casas “mistas” de palha e pau a pique. Atualmente é possível encontrar também casas “mistas” ou casas de adobe com cobertura em telha cerâmica ou com cobertura de zinco. Algumas construções mais avantajadas recebem contraventamentos de madeira em forma de “X”, dessa forma conseguem maior resistência aos ventos da estação das chuvas [64].

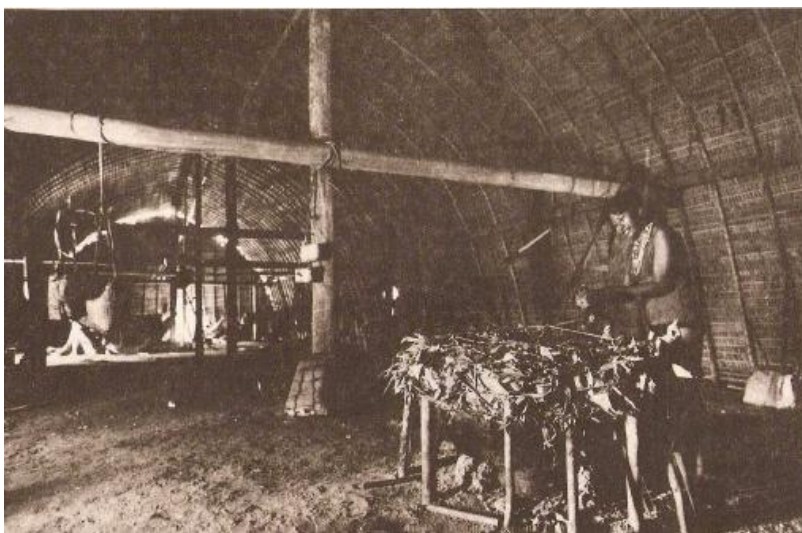


Figura 66 – Interior de uma casa indígena do Brasil [64]

Observar o uso de estrutura de madeira rija como pilar e viga central, com varas flexíveis nas laterais, as quais recebem revestimento de sapé entrelaçado. Sapé é um capim que é mal aceito pelo gado como alimento

Todos os grupos indígenas brasileiros empregam o cipó na técnica de amarração das estruturas de suas casas. Cipós são plantas lenhosas que se pendem das árvores, típico de florestas

tropicais. Enquanto a amarração de revestimentos, como folhas de palmeira, é feita através de entrelaçamento das folhas e com recurso a grampos de madeira ou, atualmente, com recurso a pregos [64].

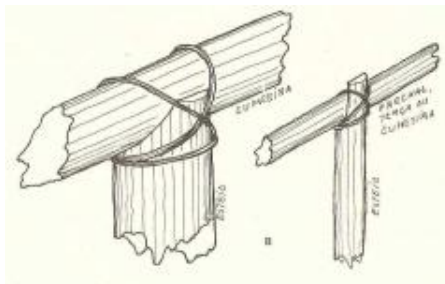


Figura 67 – Exemplos de amarração com cipó [64]

A utilização quase total de materiais naturais orgânicos impede que a durabilidade dessas construções seja muito elevada. Na Amazônia as construções raramente duram mais de 15 anos, não apenas devido a sua degradação física, mas também devido a fatores sociais que não serão aqui abordados [56].



Figura 68 – Habitação vernacular indígena no Brasil [56]



Figura 69 – Habitação vernacular na Venezuela: Uso de palha de folha de palmeira [60]

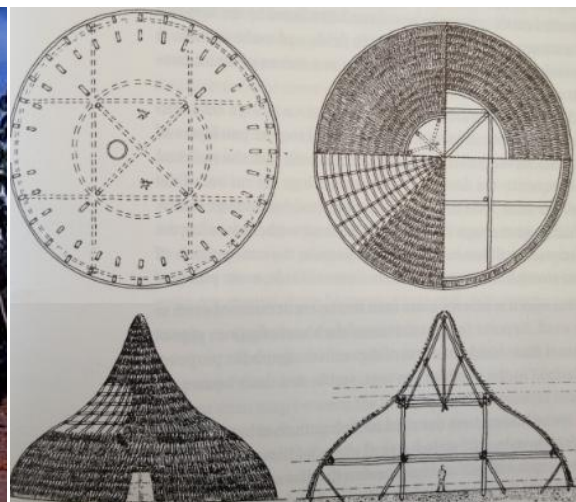


Figura 70 – Esquemas de habitação vernacular indígena na Venezuela [56]

A sobrelevação da construção também era comum em algumas regiões da América do Sul, principalmente na Guiana e Guiana Francesa. Desta forma respondiam a problemas com águas superficiais e conseguiam maior proteção contra animais e insetos. Nestas regiões, a proteção que se necessita ter com humidade e precipitação é maior do que a proteção que as paredes podem oferecer, a quais foram por vezes dispensadas [56].

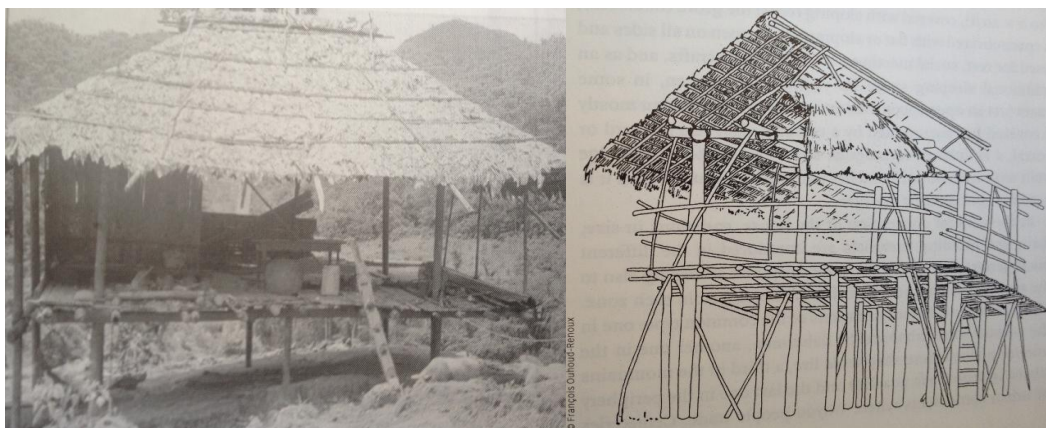


Figura 71 – Habitação vernacular indígena na Guiana Francesa: sobrelevação [72]

Com a chegada dos colonizadores a América, os edifícios brasileiros passaram a ter pisos intermédios de madeira, paredes de taipa e coberturas de telha. No Chile, a construção colonial era geralmente de dois pisos com varanda, com forte uso da madeira e da pedra nas fundações [56].



Figura 72 – Arquitetura colonial no Chile [56]



Figura 73 – Construções coloniais em Minas Gerais, Brasil [56]

Em Georgetown, na Guiana, as construções coloniais apresentam estrutura de madeira sobrelevada em pilares de tijolos. A sobrelevação da estrutura deriva da cultura arquitetônica das construções vernaculares da região [56].

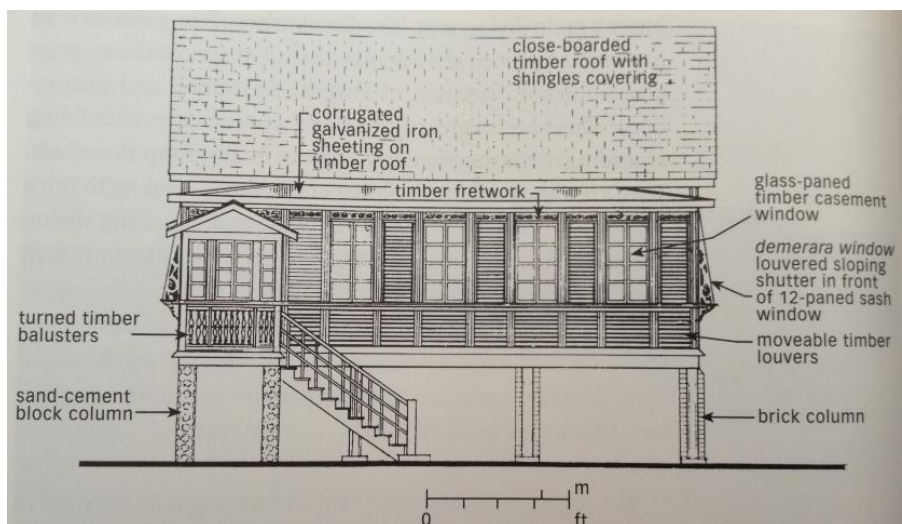


Figura 74 – Arquitetura colonial em Georgetown, na Guiana [56]

Desde a chegada dos colonizadores até o século XIX, as construções foram fundamentalmente feitas com uso da taipa, a qual posteriormente começou a entrar em declínio, sobrevivendo apenas em comunidades mais pobres. O uso do adobe com reforço de madeiramento também era comum. Para famílias de posse houve vários exemplos de construções de grandes casas com estrutura de madeira e adobe, com até dois pisos, as vezes com cantaria e com introdução de varandas, as quais foram uma inovação. Nas zonas rurais a cobertura era geralmente em palha e o piso térreo podia ser sobrelevado do solo por meio de uso de pranchas de madeira. Nas vilas era necessário uma urbanização mais compacta e para cobertura era preferível telhas de cerâmicas [64].

A arquitetura colonial brasileira está ligada a arquitetura portuguesa desde o século XVI. As grandes casas coloniais tinham planta retangular e predominância de um corredor central que ligava a sala aos espaçosos quartos. Cozinha e casa de banho ficavam separados e localizados na parte de trás da habitação. As aberturas das janelas eram grandes em função do clima, porém a orientação não era bem definida, a ventilação cruzada não era um fator planeado na arquitetura dessas habitações, mas o pé direito alto e as grandes janelas favoreciam a ventilação natural. Inicialmente o sombreamento das fachadas também não era bem aproveitado para melhorar o conforto térmico [67].



Figura 75 – Construções coloniais em Salvador, Brasil
 [Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Salvador_\(Bahia\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/Salvador_(Bahia))]

Atualmente, a arquitetura contemporânea tem grande aderência ao uso do betão e materiais cerâmicos, ou seja, materiais maciços. Muitas cidades têm, há décadas, sofrido grande expansão e crescimento em altura como forma de resposta ao problema atual de sobrelotação. Esse problema também está associado ao frequente congestionamento de tráfego e degradação do ambiente social.



Figura 76 – Crescimento vertical (Cidade de Recife, Brasil)
 [Fonte: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Recife>]

É no Brasil que Lefavre e Tzonis consideram ter a “arquitetura tropicalista” atingido o nível mais alto. Há combinação do Barroco local com a arquitetura Moderna adaptada ao clima tropical, lembrando que foi Le Corbusier que aí introduziu o *brise-soleils* a fim de evitar a radiação solar direta nas fachadas e envidraçados. O *brise-soleils* passou a ser aplicado massivamente nos países tropicais após a 2ª Guerra Mundial, mostrando a preocupação de Le Corbusier com a adaptação as condições climáticas, significa o controlo de um elemento natural: o sol. Le Corbusier refere que há necessidades de iluminação solar, cuja intensidade varia com as estações, assim confirma a funcionalidade de haver “quebra-luzes” móveis nas fachadas [61].

Além da preocupação de Le Corbusier, em promover a proteção solar adequada, a introdução de pilotis permitia a arquitetura descolar-se do solo. Desta forma favorecendo o convívio social, a circulação de pessoas e a ventilação [24].

O edifício sede do Ministério da Educação e Saúde Pública do Rio de Janeiro é considerado um marco no estabelecimento da arquitetura Moderna brasileira. Foi projetado por uma equipe composta por Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, entre outros, com a consultoria do arquiteto Le Corbusier. O seu bloco principal está suspenso por pilotis e apresenta o seu lado sul mais fresco, assim encontra-se isento de proteção. O lado norte, onde recebe a radiação solar, está protegido. Os pavimentos de espessas lajes de betão estendem-se exteriormente até cerca de 1,5 metros da frente da janela, dando a feição de um engradado retangular. A parte superior de cada faixa vertical mostra três anteparos horizontais de amianto regulados por uma manivela, podendo mover-se de acordo com o sol, permitindo entrada de ar e ao mesmo tempo bloqueando a entrada solar direta [61].



Figura 77 – Edifício sede do Ministério da Saúde Pública no Rio de Janeiro [65]

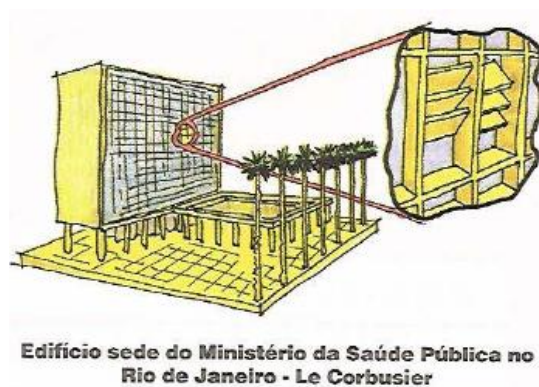


Figura 78 – Esquema do *brise-soleils* [24]

Nas periferias destas grandes e caóticas cidades há crescentes ocupações “informais”, bairros pobres e precários. Essas construções são geralmente feitas pelos próprios habitantes com recursos disponíveis e por vezes reutilizados, mas nem sempre são sustentáveis. As telhas de fibrocimento e chapas metálicas são as mais utilizadas atualmente em bairros “informais” no Brasil, podendo ser bastante inadequadas a medida em que são estanques a ventilação [67].

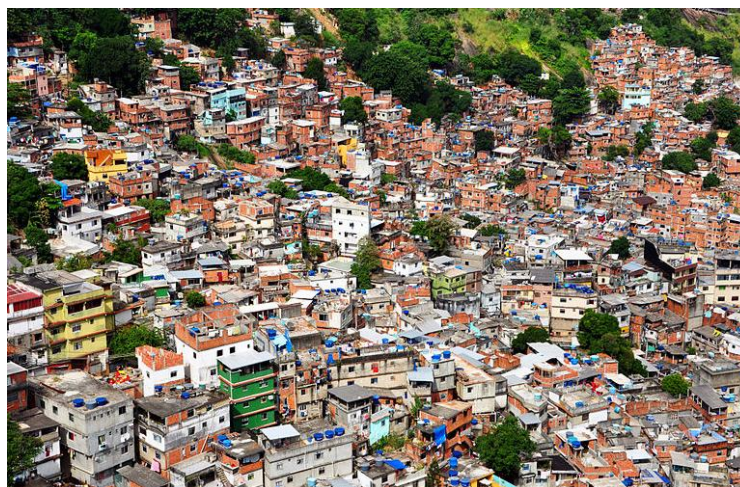


Figura 79 – Favela da Rocinha, Rio de Janeiro
[Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Favela>]

Os assentamentos “informais”, favelas, contribuem para degradação do ambiente social e destruição de área verde, por vezes ilegalmente. São construções feitas sem recurso a técnicos especializados e utilizando materiais de construção baratos num ambiente de precariedade, sem planeamento prévio. Numa área reduzida são construídas o máximo possível de habitações. As construções não são altas verticalmente pois não possuem tecnologia para tal, pelo contrário são muito próximas umas das outras, o que é indesejável para a ventilação em climas quentes e húmidos e, consequentemente torna o ambiente desconfortável.

O uso do bambu na construção também é típico de países sul-americanos. Países como a Colômbia, Equador e Costa Rica têm forte tradição do uso do bambu há milhares de anos. O bambu não era um material utilizado como estrutura principal, essa era a função da madeira, mas era utilizado como estrutura de telhados, varandas e como estrutura de parede de adobe.

No Equador, a cidade de Guayaquil tem 60% de sua população vivendo em assentamentos “informais”. No início construíam suas casas com recurso ao bambu, recurso que estavam familiarizados em construir e que cresce em abundância na costa do Equador. As suas habitações em bambu eram frescas, rápidas de construir e fáceis de modificar. Além disso o bambu trabalha a tração, compressão e tem resistência ao fogo e ao sismo. É um material leve e adequado para o clima tropical húmido e para os solos húmidos e instáveis do Equador [66].

Para os estrangeiros, o bambu parece ser um material que se adapta bem às paisagens da região. Mas, atualmente para os habitantes da cidade o bambu é sinónimo de pobreza, preferindo estes juntar dinheiro para comprar materiais sólidos. O aumento da criminalidade e as preocupações com a segurança ajudaram a promover a troca do bambu por blocos de betão. As paredes de bambu e as grandes aberturas das habitações não oferecem tanta segurança quanto as construções rígidas e fechadas de betão e tijolos [66].

O bambu tem sido utilizado atualmente de forma sustentável em combinação com outros materiais. Por exemplo, na figura a seguir, a estrutura da cobertura é feita de bambu, sobre o qual foram postas chapas metálica que proporcionam proteção adequada às canas de bambu.



Figura 80 – Construção sustentável no âmbito do projeto “Tacuara” no Brasil. Estrutura em bambu sob chapa metálica na cobertura, assente em antigos postes de eletricidade de madeira. [Fonte: Silva, H. - São Paulo - 2012]

Em algumas regiões mais secas e altas, como nas montanhas do Peru, da Bolívia e do Chile, a terra é seca e os recursos escassos. O clima quente e seco não proporciona o crescimento de árvores de grandes dimensões, apenas vegetação rasteira. Nesses locais a arquitetura vernacular utilizava basicamente terra para construção. Em geral são habitações de pequenas dimensões e apresentam formas cónicas. Algumas tribos indígenas da região ainda vivem em habitações construídas dessa forma [60].

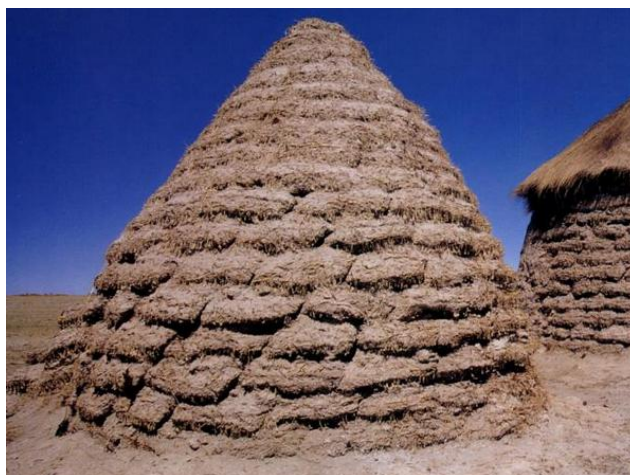


Figura 81 – Construções vernaculares nas terras altas do Peru [60]

Em algumas dessas regiões altas utiliza-se também pedra na construção, como é comum nas construções das civilizações Incas. Algumas são mistas de adobe e pedra, e com cobertura de palha [60]. Em todos os casos as construções são de pequenas dimensões e de materiais de forte inércia térmica, ambos fatores que contribuem para o conforto térmico em clima quente e seco.

Caraíbas

O mar das Caraíbas é composto por centenas de ilhas com clima tropical, com algumas variações consoante a região. Algumas áreas são secas e com pouca precipitação, enquanto outras sofrem com o excesso de humidade, há regiões em que a humidade média é de 80% a noite e com típicas chuvadas ao final da tarde [56]. Todo o território, entretanto, recebe quase todos os dias radiação solar com céu limpo. Ventos do nordeste são bem recebidos como um fator de arrefecimento, porém a maioria das ilhas estão sujeitas a ocasionais tornados e sismos [68].

Os índios que ocupavam o território antes da chegada dos colonizadores europeus procuravam nas suas habitações responder as condicionantes geográficas e climáticas, com simplicidade. Esses conhecimentos passados de geração a geração pelos indígenas ajudou aos colonizadores adaptarem as suas construções ao clima local [68].

A arquitetura tradicional caribenha é tão variável quanto a variedade de ilhas que a compõem. Diferentes formas de expressão e pinturas distinguem as tradições nas diferentes ilhas. Em geral

utilizava-se na construção materiais naturais existentes no local, maioritariamente a madeira para construção das paredes e das estruturas e a folha de palmeira para construção de coberturas [68].

A maioria das tribos vivia perto do mar ou de rios, de onde podiam buscar alimento e água. As habitações eram agrupadas em torno de uma praça central. As plantas das habitações eram circulares, hexagonais, ovais ou retangulares. Algumas tribos construíam suas habitações com a estrutura da cobertura emergindo diretamente do solo, outras apoiavam-se em paredes. A habitação do chefe da tribo era geralmente maior que a dos restantes habitantes [68].



**Figura 82 – Arquitetura vernacular nas Bahamas [68]
Paredes de troncos de madeira e cobertura de folhas de palmeira.**

A figura acima é uma reconstrução da arquitetura vernacular das Caraíbas. Esta apresenta usualmente uma forma circular, com estrutura de madeira, grande permeabilidade ao ar e cobertura de colmo, mais alta ao meio [56]. O uso de materiais leves, de baixa inércia térmica, é favorável para o clima quente e húmido, enquanto a cobertura alta favorece a ventilação natural interior. Os materiais são todos encontrados nas proximidades do local de construção e as soluções construtivas não envolvem técnicas muito sofisticadas.

Após a chegada dos colonizadores europeus, muitas cidades tomaram a forma típica de cidades barrocas europeias, com praças centrais. A madeira era o material de construção predominante na arquitetura colonial caribenha. Mas tijolos e telhas também eram utilizados em edifícios de maior importância. Esses materiais sólidos eram importados, apenas alguns tijolos eram produzidos na região [68].



Figura 83 – Representação da época colonial na Jamaica, ilha de colonização inglesa [68]

As construções coloniais em madeira, pedra e tijolos foram sendo substituídos pelo uso de materiais modernos. O uso do betão é atualmente a forma de construção mais vulgar e mais barata nas Caraíbas. Incêndios, furacões e outros desastres naturais também foram responsáveis pela substituição da madeira pelo betão, o qual é visto como sendo mais seguro. O cimento, o tijolo e todas as matérias-primas são hoje produzidos na região.

América Central

Nessa região há registos de ocupação há mais de 3.000 anos pela civilização Maia. O termo Maia abrange um coletivo de povos nativos que partilham de alguma forma uma herança cultural e linguística, apesar de englobar grupos étnicos diferentes, cada um com suas tradições e identidades históricas particulares. A civilização Maia habitou a região de florestas tropicais das atuais Honduras, Guatemala e sul do México. Mais a norte do México habitava a civilização Asteca [69].

Para as construções Maia era requerido muita força de trabalho humana, uma vez que a civilização não dispunha de muita tecnologia, não utilizava ferramentas de metal nem veículos com rodas. A arquitetura era voltada para a construção de templos com pedra, frequentemente pedra calcária polida com recurso a outra pedra. Para as habitações comuns os materiais mais utilizados eram a madeira e o adobe nas paredes e a cobertura era de palha, embora tenham também sido descobertas habitações feitas de pedra calcária [69].

As construções Maias eram feitas sobre plataformas aterradas, com altura variável de menos de um metro no caso de estruturas pequenas e até cinco metros no caso de grandes templos. Os templos Maias e os Astecas eram sempre retangulares, gerando pirâmides coroadas por uma plataforma [69].



Figura 84 – Templo Maia de Kukulcán, no México
[Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Templo_de_Kukulc%C3%A1n]

Em muitos países, antes da influência europeia, a arquitetura vernacular apresentava coberturas com formas cónicas e piramidais. Na Costa Rica, por exemplo, ao longo da costa caribenha eram típicas as coberturas cónicas e na costa pacífica eram típicas as piramidais, ambas construídas com folhas de árvores ou palha e com estrutura de varas de madeira. Após a chegada dos colonizadores espanhóis à América, a cobertura passou a ser um elemento pesado, construído com telhas e vigas maciças apoiadas sobre paredes de adobe e formando uma cobertura geralmente de duas águas. O resultado foi uma cobertura que pouco permite a ventilação, já que as telhas são estanques e os muros de adobe não permitiam grandes aberturas [70].



Figura 85 – Casa em taipa na Guatemala [62]

O território do México tem uma grande diversidade de arquitetura vernacular, inicialmente indígena, posteriormente arquitetura colonial de origem espanhola e uma mistura de culturas. No início do século XX a Revolução Mexicana teve forte influência na arquitetura do país, grande parte da arquitetura vernacular desapareceu. Mais adiante, em cerca de 1940, o processo de industrialização do país generalizou a construção nas cidades com materiais de construção produzidos industrialmente. O rápido crescimento urbano foi gradualmente causando o abandono das zonas rurais e, conseqüentemente, a arquitetura vernacular foi tendendo a desaparecer [56].

2.4.3. Ásia e Oceânia

Esta região é composta por uma grande quantidade de ilhas. O clima predominante é o tropical húmido, o que contribui para que grande parte do território seja coberta por exuberantes florestas tropicais. Vista a grande variedade de etnias e construções, serão aqui citados principalmente aspetos da arquitetura da Indonésia, a qual apresenta bons exemplos que caracterizam as construções nessa região. Serão abordados os aspetos mais comuns, pois mesmo dentro da Indonésia existe mais de 300 etnias [71].

O sudeste da Ásia é predominantemente rural, apenas 20% da população da Tailândia e do Vietname vive em cidades. Esta região teve forte crescimento na década de 1960, mas mesmo assim muitos exemplos de arquitetura tradicional podem ser encontrados em zonas rurais.

As tecnologias construtivas tradicionais aproveitam a grande abundância de espécies vegetais existentes na região. É uma arquitetura leve, que pode ser desmontada e reconstruída em outro local se necessário [72].

Quase todas as construções vernaculares do sudeste asiático são feitas com um sistema de estrutura que recebe as cargas, portanto as paredes não suportam cargas. Essas paredes geralmente são preenchidas por madeira, bambu ou colmo, mas há também relatos de existência de paredes preenchidas com terra ou pedra [72].



Figura 86 – Exemplos de construções vernaculares no sudeste asiático [72]

Nos países de clima tropical húmido a sudeste da Ásia, como a Indonésia, a Malásia e Singapura, as construções mais ancestrais foram feitas com estrutura em madeira, e com variadas e elaboradas estruturas de cobertura. A cobertura, tradicionalmente de palha, tinha preocupação de ser bastante inclinada para favorecer o escoamento das águas das chuvas. O sistema estrutural em madeira leva toda carga diretamente para as fundações. Portanto as paredes, geralmente de madeira ou bambu, não têm função estrutural. O pavimento tradicional é de madeira, e há uma preocupação em sobrelevar as habitações do solo, desta forma é conseguida uma melhor ventilação e proteção contra águas pluviais, escoamentos superficiais e a humidade ascensional [72].

Outra característica, que pode ou não existir, é o uso de varandas e terraços nas habitações, cujo uso podia ser destinado a zona de convívio que preservava a privacidade interior. As habitações geralmente apresentam uma parte aberta a atividades sociais e uma parte fechada a vida privada dos moradores [72].



Figura 87 – A sobrelevação funcionando como proteção da construção contra às águas [72]



Figura 88 – Habitação tradicional das Ilhas Salomão [72]

Na Indonésia pode-se distinguir três tipos de arquitetura [73]:

- ➔ Arquitetura vernacular: Paredes em madeira ou bambu, com função não estrutural, e cobertura de palha.

As habitações vernaculares da região geralmente possuem varandas e aberturas para permitir a ventilação. O pé direito, em média com 2,5 metros, é mais alto no centro da casa para permitir um contínuo movimento do ar. A cobertura em estrutura de madeira é também bastante alta e inclinada para promover a ventilação, permitir perdas térmicas nas superfícies e otimizar o escoamento das águas da chuva.

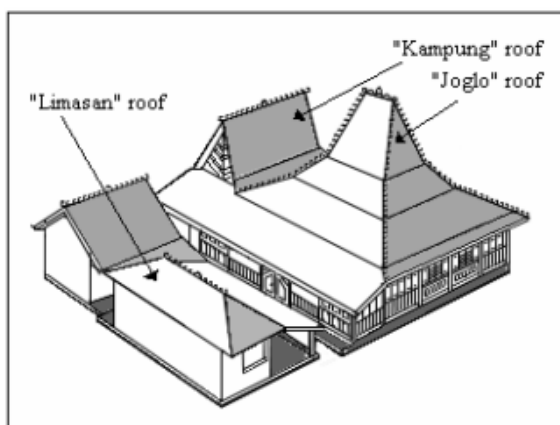


Figura 89 – Formas típicas de coberturas tradicionais encontradas na Indonésia [73]

As paredes normalmente são de madeira e muitas vezes ornamentadas, portanto é uma construção leve, de fraca inércia térmica. Algumas paredes e portas têm a madeira talhada, que além da função decorativa, tem a função de proporcionar fluxo de ar para o interior das habitações através das malhas talhadas. Exemplos dessa arquitetura são encontrados principalmente em pequenas vilas e zonas rurais.



Figura 90 – Construção tradicional na Indonésia, com madeira talhada [70]

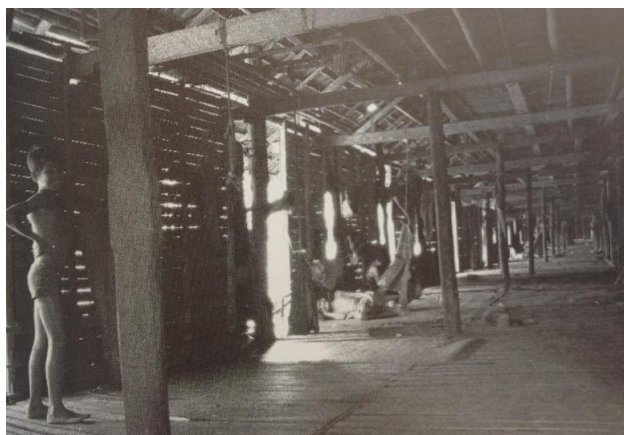
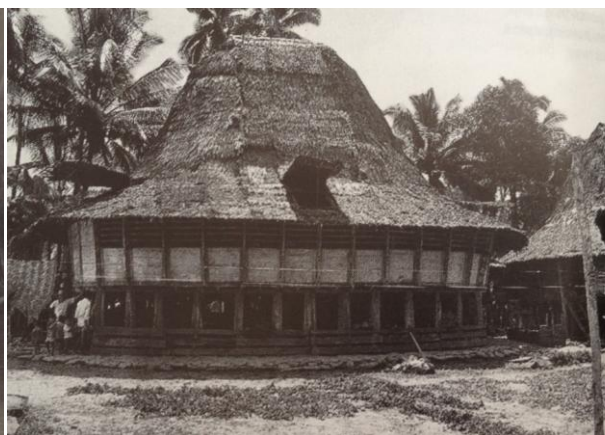


Figura 91 – Vãos entre elementos construtivos de madeira proporcionam ventilação e alguma iluminação [72]



**Figura 92 – Preocupação com a ventilação, Ilha Nias na Indonésia [72]
Aberturas na cobertura e nas paredes**

Sao pu'u é conhecida como “a casa da origem”, é uma das mais ancestrais categorias de construção da Indonésia. Essas construções são em estrutura de madeira sobrelevadas do solo aproximadamente 1 metro. Possui geralmente um terraço na frente, um compartimento principal a

meio e outro na parte traseira. O terraço é onde se costuma receber os visitantes. A cobertura é em palha, funcionando bem como isolante térmico [74].

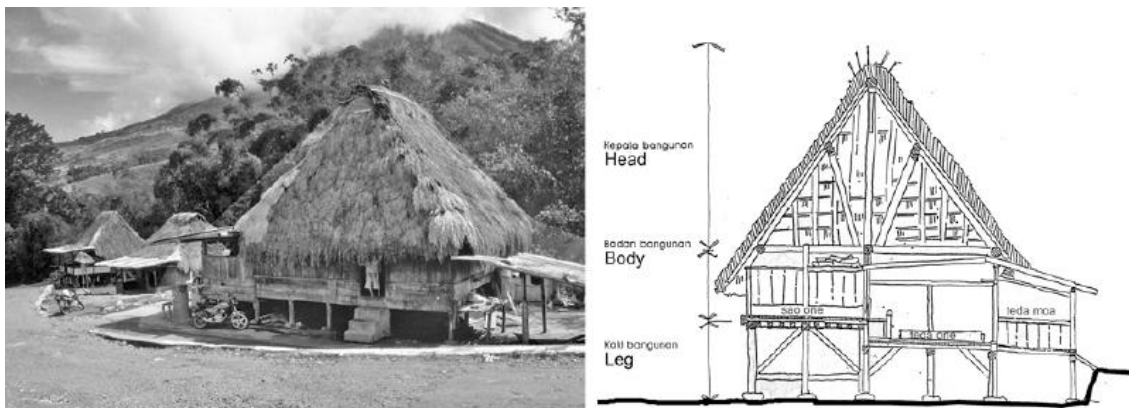


Figura 93 – Construção *sao pu'u* em Bena Village, Indonésia [74]

Na Indonésia é típico que as construções tenham grandes volumes, mas a proporção entre paredes e cobertura é variável. Por exemplo nas tribos Batak, o grande volume da construção é dado essencialmente pela cobertura, a qual é muito maior que as paredes, enquanto nas tribos Minangkabau as paredes são muito grandes, em comparação com a cobertura [72].

As casas da etnia Batak, povos do Norte da Sumatra, na Indonésia, eram dispostas uma ao lado da outra com algum espaçamento e próximas de árvores, o que é benéfico para o arrefecimento da habitação. Os telhados são altos e geralmente de palha, proporcionando um grande volume interno, o que é favorável para a renovação do ar. As paredes têm poucas aberturas, desta forma o interior não é bem iluminado, mas é de referenciar que essas habitações são utilizadas basicamente para dormir, pois a maioria das atividades são realizadas ao ar livre.



Figura 94 – Casa tradicional da etnia Batak, na Indonésia
[Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Batak>]

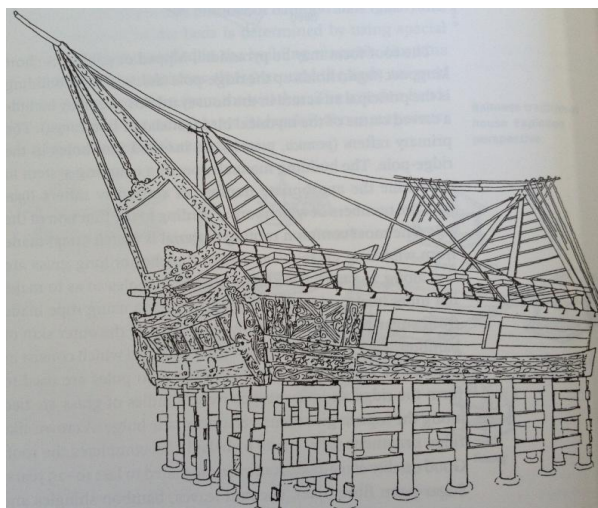


Figura 95 – Desenho da casa tradicional Batak, na Indonésia [72]

A região da Indonésia é uma das mais sísmicas do mundo. Para proteção a este fenômeno natural, as construções modernas parecem mais resistentes do que as tradicionais, mas nem sempre são. Por exemplo, um sismo de magnitude 7.8 que ocorreu em 1992 em Wolotopo, na Indonésia, danificou várias casas com estrutura de betão, porém as casas tradicionais com estrutura em madeira permaneceram praticamente não afetadas [74].

Habitações bem construídas podem durar uma geração e algumas duram até mais de 100 anos. Mas, a maior parte da população vive agora em casas modernas, e muitas casas tradicionais estão abandonadas ou em mal estado de conservação [72].

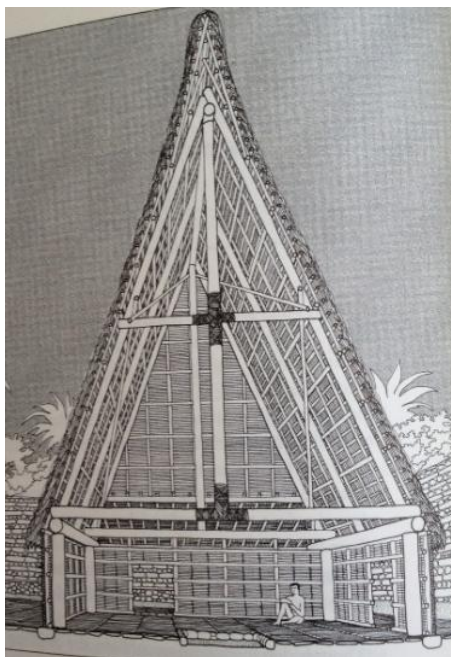


Figura 96 – Perspectiva de uma habitação tradicional da Micronésia [72]

➔ Arquitetura colonial: Geralmente uso de materiais cerâmicos: tijolos e telhas.

Apesar da influência europeia, fundamentalmente da Holanda que foi colonizadora, a arquitetura colonial na Indonésia apresenta diferentes formas influenciadas pelo clima. As coberturas são inclinadas para escoamento das águas das chuvas e altas para proporcionar melhor ventilação natural. Há áreas sombreadas no contorno dos edifícios, de forma a proporcionar sombra e funcionar como isolamento de calor. Há sistemas de janelas com grandes dimensões que proporcionam melhor ventilação natural. As paredes são normalmente em tijolos, e a cobertura em telha. Normalmente possuem 1 ou 2 pisos, com pé direito de 3,5 metros. Exemplos dessa arquitetura são encontrados principalmente nos centros urbanos.

No começo os colonizadores holandeses construíam suas casas na Indonésia da mesma forma que na Holanda, com paredes solidas e fechadas, pois acreditavam que assim poderiam proteger-se das várias doenças tropicais. Somente depois é que se aperceberam que estavam equivocados e aprenderam com as tribos locais que ter uma habitação ventilada nesse clima é

bastante mais saudável. Dessa forma começaram a surgir adaptações às construções, como a introdução de varandas, pórticos, grandes janelas e aberturas para ventilação [71].

➔ Arquitetura contemporânea: Arquitetura e sistemas construtivos de estilo contemporâneo, forte adesão ao betão e telhas cerâmicas ou fibrocimento.

Atualmente materiais de construção de alta qualidade são fabricados na Indonésia, incluindo - painéis de betão pré-fabricados. Esses materiais passaram a ser fundamentais à arquitetura internacional moderna com influências corbusianas, a qual integrou-se nas construções da Indonésia após 1945, ano de independência [71]. Em Singapura e na Malásia, a arquitetura moderna internacional veio substituir a arquitetura colonial de origem britânica após a década de 1950-1960.

A arquitetura contemporânea conta com pé direitos mais baixos (geralmente 2 metros), menores aberturas e opção por uso de materiais sólidos. Esses fatores são responsáveis pela necessidade do uso de sistemas de arrefecimento artificial na generalidade dessas construções.

2.4.4. Médio Oriente

O Médio Oriente é uma região localizada a sul do Mar Mediterrâneo, entre o continente asiático e o continente africano. Quase todo o território apresenta clima seco e há poucos rios. Na Península Arábica existe clima tropical e subtropical com altas temperaturas, humidades relativas e as precipitações são variáveis [72].

A arquitetura é diferente consoante esteja-se no interior ou junto à costa. As construções próximas à costa são mais abertas, permitindo maior circulação de ar [72]. Como consequência do clima quente e seco, a construção no Médio Oriente é maioritariamente maciça, com materiais de elevada massa térmica para controlo das trocas térmicas com o meio. Esta estratégia consiste em utilizar materiais com elevada capacidade térmica e espessura significativa, proporcionando um atraso térmico e amortecimento das temperaturas internas em relação às temperaturas externas [65].

O Iémen é um país a sudoeste do Médio Oriente e apresenta um vasto património construído, que consiste em altas estruturas de terra sobre pedra, podendo atingir mais de 8 pisos [72]. Algumas torres e edifícios com mais de 300 anos continuam em utilização. Esses edifícios, construídos geralmente em adobe, têm em média 6 pisos. A disposição espacial das construções é feita de forma a tirar maior vantagem do sombreamento, enquanto o uso de cores claras e reflexivas nas fachadas absorvem menos a radiação solar, evitando a absorção de calor excessivo [60].



Figura 97 – Construções em adobe no lémen [60]

As figuras a seguir exemplificam construções tradicionais em pedra e em terra no lémen, com janelas pequenas e preferencialmente sombreadas de forma a evitar a radiação solar direta, a qual é bastante intensa nas regiões de clima quente e seco. Como já referido, a aproximação entre os edifícios também é favorável, uma vez que proporcionam maior sombreamento das fachadas. Além de estreitas, as ruas são irregulares e permitem criar correntes de ar fresco e proteção durante tempestades [72].



Figura 98 – Sombreamento das janelas no lémen [62]

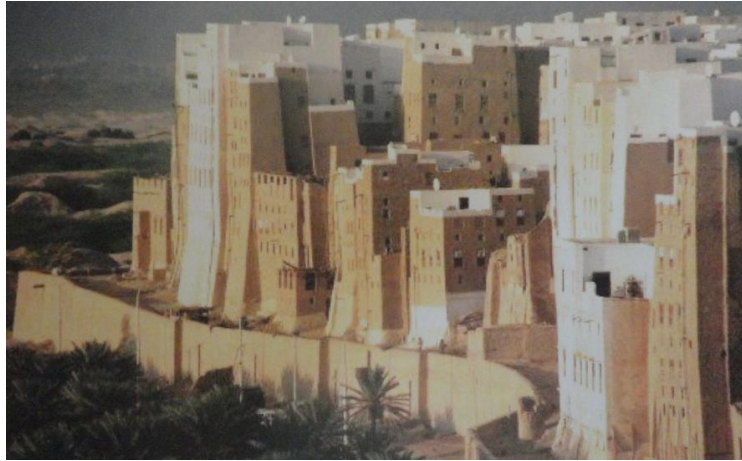


Figura 99 – Edifícios em adobe no Shibam, Iémen [6]

Exemplos de construções subterrâneas também são encontrados na região do Médio Oriente. A construção subterrânea tem vantagem nesses climas, uma vez que apresenta forte inércia térmica, aproveitando as temperaturas agradáveis do solo enterrado. Por outro lado, a construção de torres de ventilação é uma estratégia que permite a ventilação de modo mais eficiente. A introdução destas torres permite a captação do fluxo de ar acima da cobertura, onde a temperatura e as cargas de poeira são menores.



Figura 100 – Torres para captação do vento no Irão [65]

A forma cônica favorece o ar quente subir até o topo, mantendo em baixo o ar mais fresco. Essa é uma estratégia bastante visível nas construções em climas quentes. Outra estratégia encontrada é a construção de pátios internos, geralmente com piscinas ou fontes e vegetação. O pátio interno permite a ventilação da construção recebendo ar mais limpo e fresco, proveniente de cotas elevadas e proporciona sombreamento, sendo locais mais frescos. A implantação de piscinas e vegetação também favorecem o arrefecimento, a evaporação da água diminui a temperatura do ar.



Figura 101 – Pátios internos com vegetação e com piscina, respetivamente [75]

Em todo o Médio Oriente muitas casas tradicionais estão sendo demolidas para dar espaço a modernos arranha-céus de betão, de aço e vidro. A moderna cidade do Dubai, nos Emirados Árabes Unidos, tem influenciado outras cidades, como Beirute no Líbano, a seguir o caminho da modernização. Porém, no lémen a arquitetura tradicional continua tendo grande adesão, grande parte devido a pobreza e isolamento que o país possui [76].

Em 1986, a Unesco reconheceu a Cidade Velha do lémen como património mundial, o que contribui para ajudar a subsidiar o custo com materiais e métodos tradicionais, que muitas vezes custam mais do que os modernos. A cidade mantém sua forma tradicional, mas adaptando-se aos modos de vida atuais. Foram construídos sistemas de esgoto e pisos térreos de edifícios, os quais em outros tempos serviam para abrigar os animais, foram reformados em lojas [76].



Figura 102 – Tijolos de barro continuam sendo utilizados de forma tradicional nas construções no lémen [76]

2.5. Sistemas Construtivos Tradicionais

“Materiais sustentáveis são materiais e produtos construtivos saudáveis, duráveis, eficientes em relação ao consumo de recursos e fabricados de forma a minimizar o impacto ambiental e maximizar a reciclagem “ (Brian Edwards, 2004) [8].

A recolha de informação sobre sistemas e tipologias construtivas tradicionais é um bom caminho para se proceder o estudo de estratégias mais sustentáveis. Estas técnicas e sistemas construtivos foram elaborados e otimizados ao longo de vários anos, o que os torna bastante adequados as condicionantes climáticas da região. Além da informação do sistema construtivo por si só, é importante perceber o seu enquadramento no contexto cultural, económico e ambiental da região em estudo.

A construção vernacular utilizou sempre materiais renováveis ou com ampla disponibilidade no meio ambiente, fatores que são indispensáveis para obter um edifício sustentável. Porém, essa premissa não deve ser tomada como absoluta. Qualquer extração feita da natureza causa impactos ambientais que devem ser analisados. Por exemplo, deve ser evitado o uso de madeiras que tenham elevados impactos ambientais devido ao seu transporte a longas distâncias ou aquelas que usem elevadas quantidades de fertilizantes, pesticidas ou fungicidas, ou ainda aquelas que causem destruição ou alteração de ecossistemas. Assim como a destruição de florestas tropicais para produção de madeiras de utilização industrial ou o abate de madeiras a uma taxa superior à sua renovação natural [6].

Logo a partida não é possível descobrir se um material de construção é mais amigo do ambiente do que outro. Para isso, é necessário a contabilização de todos os impactos ambientais causados por cada material, desde o início das extrações das matérias-primas até a fase final do ciclo de vida, ou seja, analisar o ciclo de vida dos materiais [6].

A análise da sustentabilidade dos materiais de construção pode ser feita através da análise de diversos indicadores. Alguns indicadores no processo produtivo podem ser: consumo de energia; produção de resíduos; emissão de substâncias nocivas ao meio ambiente; consumo de recursos renováveis; uso de combustíveis fósseis; grau de reciclagem e reutilização; durabilidade dos materiais e da própria edificação; aproveitamento de recursos do local e da cultura local [38].

Um indicador de sustentabilidade dos materiais de construção é a sua energia incorporada, a qual abrange toda a energia consumida durante a sua vida útil. Há, no entanto, diferentes abordagens sobre onde começa e onde termina a vida útil dos materiais. Alguns autores consideram desde o início da extração das matérias-primas até à porta da fábrica (*cradle to gate*), outros do início até à obra (*cradle to site*) e outros do início até à fase de demolição e deposição (*cradle to grave*). O mais correto é considerar o caso mais abrangente de energia incorporada de um material como a energia consumida desde a extração das matérias-primas até a fase de fim de vida do material (*cradle to grave*) [6].

Portanto uma análise completa do ciclo de vida de um material engloba a energia utilizada na extração das matérias-primas, na fase de produção, no transporte e aplicação dos materiais em obra, na manutenção dos materiais durante o tempo de vida útil e na posterior demolição e eventual

reciclagem dos mesmos. A parcela da energia incorporada referente ao transporte em todas as fases, varia consoante o modo de transporte utilizado (marítimo, aéreo, rodoviário ou ferroviário). Quanto maior for, maior será a quantidade de combustíveis fósseis (petróleo, gás, carvão, etc.) utilizada, e consequentemente maior a contribuição para o aquecimento global [37]. Esta parcela pode ser bastante reduzida com o uso de materiais locais. Morel *et al.* (2001) descrevem a construção de várias casas em França, onde o recurso a materiais locais tornou possível uma redução de 215% na energia de construção [48].

Nas últimas décadas aceitou-se que os maiores gastos energéticos fossem devidos à energia operacional, promovendo edifícios pouco eficientes de um ponto de vista energético. Porém muitos esforços foram feitos para alterar essa tendência, através do aumento da eficiência energética dos edifícios. Contudo à medida que a energia operacional vai reduzindo, a parcela referente a energia incorporada nos materiais vai se tornando cada vez mais preponderante. Segundo Berge (2009), atualmente energia incorporada num material, considerando *cradle to gate*, representa 85 a 95% da sua energia total [77]. Os restantes 5 a 15% são relativos aos processos de construção, manutenção, demolição do edifício e eventual reciclagem [6].

Segundo Amado *et al.* (2009), os sistemas construtivos devem ser projetados tendo em atenção diversos fatores: localização e exposição solar; ventos predominantes; geometria e volumetria dos espaços; nível de conforto ambiental; adoção de técnicas passivas de conservação de energia; seleção de materiais de reduzido impacto ambiental. Assim sendo fundamental um estudo completo e simulação de alternativas [16].

Os principais materiais e sistemas construtivos tradicionais serão aqui estudados nos subcapítulos seguintes, divididos em sistemas construtivos de paredes e em sistemas construtivos de coberturas.

2.5.1. Paredes

No capítulo referente a arquitetura foi possível observar as diferentes técnicas, formas e materiais utilizados nas construções ancestrais em diversas regiões do mundo. Em cada região as construções foram, ao longo dos anos, adaptadas ao clima e integradas ao meio em que se inserem e aos costumes de cada população. As soluções construtivas utilizadas dependiam da disponibilidade de recursos existentes na natureza do local, os quais podiam ser a terra, a pedra, a madeira, entre outros que pudessem formar um abrigo que respondesse às necessidades encontradas em cada clima.

As construções dos nossos antepassados eram feitas de materiais naturais. Hoje em dia, as construções correntes podem conter milhares de combinações químicas e metais pesados, podendo libertar para o ar elevadas quantidades de produtos químicos ou mesmo contaminar a água que se bebe. Também durante a fase de produção dos materiais de base química, há emissão de diversos

tipos de poluentes e produção de resíduos perigosos, os quais podem afetar negativamente o meio ambiente [6].

O cimento Portland é atualmente o ligante mais utilizado na indústria da construção, mas também está associado a elevados impactos ambientais por via de extração de matérias-primas não renováveis (calcários e argilas) e em termos de emissões de carbono, já que durante a sua produção ocorrem emissões de CO₂ através da descarbonização do calcário. Para cada tonelada de clínquer libertam-se para a atmosfera 579 Kg de CO₂ de origem química, isto independentemente da eficiência do processo utilizado. A nível mundial a produção de cimento Portland é já de 2.600 milhões de toneladas por ano, sendo que as projeções apontam para uma duplicação desse valor nos próximos 40 anos, promovido essencialmente pelos países em desenvolvimento [6].

Dentro dos materiais modernos, os materiais cerâmicos são os que tem maior impacto ambiental, mais ainda que o betão. Segundo Reddy & Jagadish (2003) uma unidade de alvenaria de tijolos cerâmicos apresentam um consumo energético quase 300% superior ao consumo energético de uma alvenaria de blocos de betão [78]. Enquanto, Nicoletti *et al.*(2002) referem que os mosaicos cerâmicos apresentam um impacto ambiental ao longo do seu ciclo de vida que é mais de 200% superior ao impacto ambiental dos revestimentos de mármore natural [79]. Goverse *et al.*(2010) referem que um aumento da utilização de madeira na construção de casas na Holanda, em vez de tijolos cerâmicos, pode permitir uma redução de quase 50% das emissões de carbono naquele país [80]. [6]

Relativamente aos impactos ambientais provocados pela indústria dos materiais cerâmicos, pode-se citar: consumo de recursos não renováveis (argilas), consumo de energia, consumo de água, emissões de gases poluentes e produção de resíduos. A necessidade de cozedura dos tijolos cerâmicos a elevadas temperaturas leva a um elevado consumo de energia por parte desta indústria. A maior vantagem ambiental dos materiais cerâmicos é o fato de que estes podem ser reaproveitados e incorporados novamente no processo produtivo ou podem ser utilizados como subprodutos para a indústria de produção de betão [6].

O aço é outro material moderno e com elevado impacto ambiental. Em busca de alternativas para o betão armado, alguns autores têm feito estudos e ensaios sobre a utilização de vigas de betão armadas com fibras de bambu. Khare (2005) concluiu, após ensaios, que vigas armadas com bambu conseguem ter 35% da resistência de vigas armadas com aço [81]. A redução da capacidade resistente das vigas com armadura de bambu deve-se ao baixo nível de aderência entre o bambu e o betão. Uma análise de aderência entre as vigas armadas com bambu e as vigas armadas com aço, comprova a obtenção de desempenhos inferiores para as armaduras de bambu, principalmente quando comparadas com aço nervurado [6].

Com a importância e o interesse atual sobre a sustentabilidade do planeta torna-se importante buscar alternativas aos materiais de construção modernos. O uso do aço, do betão e dos materiais cerâmicos podem ser bastante interessante e prático, mas também bastante agressivos ao meio ambiente. Desta forma, o interesse por materiais naturais e ecológicos tem vindo a ser crescente. Uma das formas de estudar soluções construtivas que utilizam materiais naturais é aprendendo com as construções dos nossos antepassados.

Para a construção de paredes as soluções construtivas tradicionais passavam, principalmente, pelo uso de terra, pedras, madeira e bambu, consoante a disponibilidade de recursos existente na região. As paredes eram autoportantes ou com estrutura de madeira ou bambu. As fundações eram por vezes em estacas de madeira, blocos de pedra ou terra estabilizada ou assentes diretamente no próprio solo. A utilização de pedra nas fundações é uma boa resposta a humidade do solo [21].

Em Cabo Verde, por exemplo, foi visto que as paredes e fundações tradicionais utilizavam a pedra basáltica por não haver no local outros tipos de pedras mais adequadas para construção nem outro material com ampla disponibilidade. Utilizavam espessuras de cerca de 40 centímetros, geralmente caiadas a branco [57]. A pedra é um material pouco isolante termicamente, mas a construção de paredes de pedra com elevada espessura e a sua possível combinação com a terra pode ter grande capacidade de isolamento, enquanto o revestimento de cal branca pelo exterior diminui a absorção de calor pelo material [45].

Em relação ao uso de pedras na construção deve-se ter em atenção que a exploração inadequada de pedreiras tem impacto negativo na paisagem, no solo, na flora e na fauna [57]. A pedra é um material existente na natureza e, assim como com todos os outros materiais, a sua exploração inadequada ou excessiva pode alterar o meio ambiente envolvente. Além disso, este é um recurso que pode ser abundante na natureza, mas não é renovável.

Uma desvantagem do uso da pedra na construção, além do impacto e da dificuldade de sua exploração, é o fato destas construções requererem grandes volumes de material, uma vez que necessitam de grandes espessuras, a não ser que sejam soluções construtivas mistas com isolamento. Portanto, mais pesada é a construção e maior é o volume de material a ser extraído do meio ambiente e a ser transportado desde as pedreiras até a obra.

Devido a irregularidade do material deve-se ter cuidado ao arrumar as pedras, fazendo em camadas mais coesas e mais horizontais possíveis. As juntas entre pedras podem ser tratadas com argamassa ou serem juntas secas, sem recurso a argamassa, neste último caso a resistência da construção é menor e não devem ser aplicadas a zonas sísmicas. Paredes em pedra são difíceis de construir e teoricamente mais caras [82].

Por todos esses motivos, as construções hoje em dia utilizam a pedra essencialmente para revestimento e, mesmo as que possuem paredes resistentes em pedra utilizam muitas vezes paredes duplas com recurso a tijolos e isolante térmico, o que permite diminuir significativamente a espessura de parede.

A pensar nos fatores positivos em relação a pedra como material de construção, tem-se que, este é um material durável, resistente ao fogo, altamente resistente à compressão e ao desgaste, não é tóxico e é natural, portanto após o seu uso é possível reintegrar-se no meio ambiente. Uma construção em pedra pode durar centenas de anos sem necessidade de grandes manutenções e após o seu ciclo de vida pode reintegrar-se no meio ambiente ou ser reutilizado. A pedra é considerada um material nobre e resistente.

Os principais agentes de degradação das pedras são o clima, erosões causadas principalmente pela chuva e pelo vento. Uma forma de preservação das pedras é a utilização de

rebocos, o qual tradicionalmente utilizava ligantes que iam desde a argila ao gesso e à cal. O contato com produtos químicos nocivos e aplicação de cargas excessivas também podem danificar a pedra, uma vez que este é um material pouco flexível, quando esforçado a tensões excessivas pode abrir fendas [82].

Em climas tropicais, as soluções construtivas utilizando a pedra foram encontradas essencialmente em zonas secas, em algumas regiões da África e Médio Oriente e em regiões da América Latina. As construções mais importantes das civilizações pré-colombianas (Astecas, Incas e Maias) eram construídas em pedra, demonstrando a nobreza desse material. Muitos exemplos resistiram esses anos todos e ainda estão em perfeito funcionamento.

Outro material de construção tradicional não renovável mas com ampla disponibilidade é a terra. Este é um material existente em todo o mundo, sendo poucas as regiões que não têm ou não a podem utilizar. A terra é ainda considerada amiga do ambiente devido aos seus baixos consumos de energia, baixas emissões de carbono e baixos níveis de poluição. Além disso também proporciona níveis de humidade interior benéficos a saúde humana e não sofre combustão [47].

Ao contrário de materiais cuja atividade extrativa produz grandes depósitos de escombros, como é o caso das matérias-primas de fabrico do cimento, do tijolo ou do aço, o solo utilizado para a construção em terra localiza-se imediatamente abaixo da camada de terra vegetal. Além disso, os desperdícios de construção em terra podem ser simplesmente depositados no sítio da sua extração sem qualquer perigo ambiental [6].

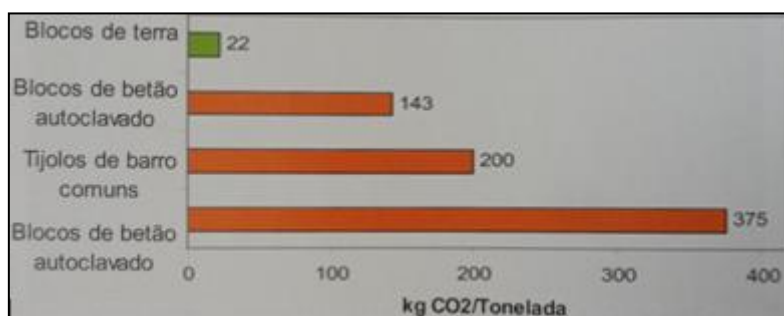


Figura 103 – Carbono incorporado em materiais de construção (kg CO₂/Tonelada) [6]

Segundo os valores da figura 103, para uma habitação de 3 quartos com 92 m² com paredes interiores em blocos de terra há uma redução de 24MWh ou 7 toneladas de CO₂ relativamente à execução das mesmas divisórias com tijolos de barro cozidos. Em relação a utilização de blocos de betão autoclavado é possível uma redução de 14 toneladas de CO₂ [6].

Nas construções em terra, a possibilidade de utilizar solo do próprio local da obra elimina a necessidade de transporte desse material, reduzindo assim a poluição e o custo económico do transporte. Além disso é uma construção possível de ser realizada toda manualmente, não tendo significativo impacto em termos energéticos [6].

Lourenço (2002) analisou gastos energéticos relativos a produção dos principais materiais necessários para a construção de uma pequena moradia, com as seguintes variantes:

Quadro 8 – Soluções construtivas analisadas por Lourenço (2002) [83]

Soluções construtivas	
Caso 1	Estrutura de betão armado, alvenarias de tijolo furado cozido e laje de esteira em vigotas pré-esforçadas e abobadilhas.
Caso 2	Alvenarias portantes em BTC coroadas com lintéis em betão e com cobertura em vigas de madeira.
Caso 3	Alvenarias exteriores portantes em taipa, paredes interiores em adobe e com cobertura em vigas de madeira.
Caso 4	Estrutura em betão armado e alvenarias só com funções de vedação executadas em adobe.

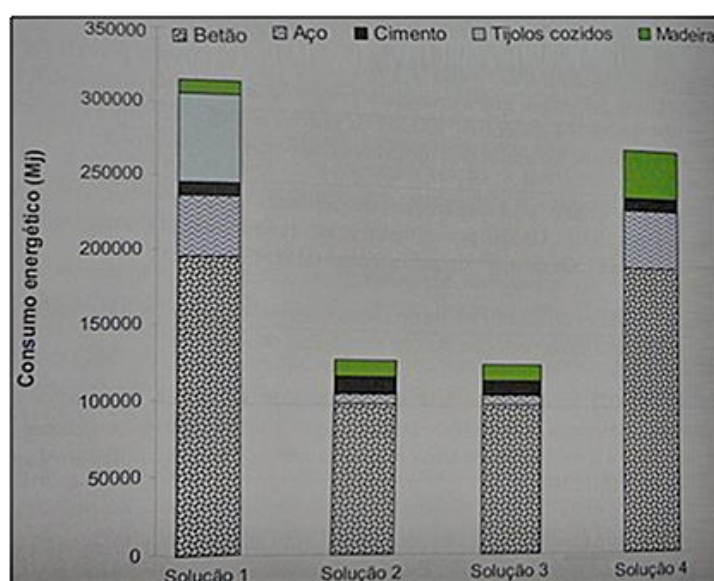


Figura 104 – Consumo energético (MJ) das soluções construtivas analisadas por Lourenço (2002) [83]

A conclusão desse estudo foi que a solução construtiva corrente necessita de um consumo energético superior ao dobro do necessário para as soluções caso 2 e caso 3. Portanto verifica-se o maior impacto ambiental, em relação a termos energéticos, do betão relativamente à terra [6].



Figura 105 – Fabrico de blocos de terra no Egito com apenas uma pequena forma de madeira [60]

O comportamento de um solo depende da quantidade de argilas, siltes e areias que fazem parte da sua constituição. A existência de componentes argilosos na sua constituição é o que fornece adesividade, estabilidade horizontal e resistência a esforços de compressão verticais [82].

Os solos mais adequados para construções em terra são aqueles que possuem determinadas percentagens de areia e argila. Em terras demasiado argilosas é conveniente a adição de areias ou cascalho miúdo, enquanto em terras fracas convém adicionar argilas. Como corretivo de terras muito argilosas também pode-se adicionar palha cortada em pequenos pedaços com finalidade de aumentar a uniformidade do material e diminuir a retração devido a posterior secagem [82].

Por exemplo na tribo Balanta, na Guiné-Bissau, na terra utilizada nas construções era misturado palha para aumentar a consistência e a resistência. Nessa tribo a mistura de barro com palha forma paredes com camadas de 1 metro de altura, deixadas secar ao sol, após a secagem são construídas as outras camadas, até chegar aos 3 metros de altura. O pavimento também leva uma camada de barro e palha sobre a terra batida, como não existem fundações essa camada é a responsável por impedir que a água das chuvas afete a base das paredes. Essas construções decorrem em média por dois meses [45].

A durabilidade da construção em terra é comprovada pelas construções antigas que conseguiram perdurar durante dezenas e até centenas de anos. A maioria dos edifícios históricos que permaneceram até hoje foi feita com recurso a terra [84]. Mas para garantir boa durabilidade é necessário ter alguns cuidados.

A utilização do solo na construção requer uma boa estabilização, um solo de má qualidade ou mal estabilizado é menos resistente e põe em causa a durabilidade da construção em terra. Estas construções são bastante vulneráveis a impactos mecânicos, a ocorrência de um sismo pode ser fatal a essas construções [21].

O principal mecanismo responsável pela erosão das paredes de terra tem a ver com a energia cinética do impacto das chuvas [85]. As paredes que recebem diretamente as águas da chuva apresentam maior estado de degradação. Porém outros autores (Ogunye & Boussabaine, 2002) referem que a chuva apenas representa riscos de erosão para as paredes de terra se a intensidade de precipitação for superior a 25mm/m [86]. [6].

A durabilidade dessas paredes pode ser aumentada com recurso a recobrimentos com reboco e caiações. Para aumentar a durabilidade é fundamental garantir periódica manutenção dos rebocos e das caiações, protegendo fendas e fissuras que possam aparecer. A aplicação anual de uma camada de cal pode ser o suficiente para resolver problemas de permeabilidade à água e à humidade nas paredes [82]. Nas construções em terra nos climas húmidos é preciso ter ainda maiores preocupações, estas devem ser devidamente protegidas das chuvas e da humidade ascendente do solo. Uma cobertura estanque e uma base de pedra ou betão são bastante funcionais para aumentar a durabilidade dessas construções [84].

Outra vantagem da construção em terra é não contaminar o ar interior com compostos orgânicos voláteis (COVs). Ainda em relação a qualidade do ar interior, a terra tem capacidade higroscópica de absorver humidade quando a humidade relativa está muito elevada e libertar esta humidade quando a mesma estiver baixa, ou seja, tem capacidade para controlar o nível de

humidade relativa do ar no interior das habitações. A terra tem capacidade de absorver cerca de 10 vezes mais humidade do ar do que o tijolo cerâmico, uma vez que é mais porosa e absorve mais facilmente a humidade [87], [6]. Desta forma também as condensações superficiais são menores em paredes de terra, sendo estas mais saudáveis a saúde humana [84].

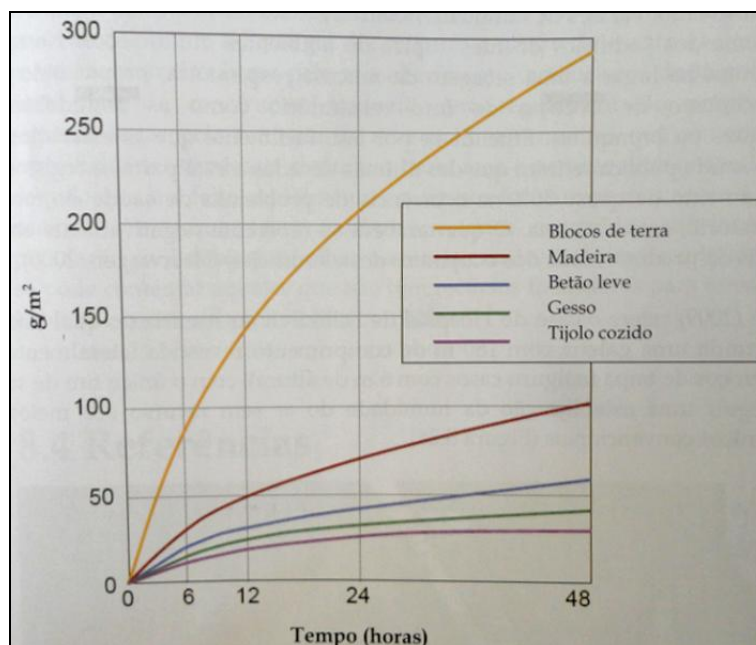


Figura 106 – Absorção de água pelos materiais (g/m²)/hora [6]

É de notar que humidades relativas superiores a 70% propiciam o aparecimento de bolores, os quais podem desencadear reações alérgicas. Valores acima de 60% de humidade relativa estão associados a presença de ácaros e doenças do foro asmático. Por outro lado, valores abaixo dos 40% estão relacionados à síndrome dos “edifícios doentes” típico de ambientes muito secos, e propiciam doenças do foro respiratório como as amigdalites, faringites e bronquites [6].

As naturais características térmicas da terra também igualam as características isolantes de bons materiais industriais, possuindo ainda a vantagem de ser um material com forte inércia térmica que permite regular as variações de temperatura. Assim, permite a construção de edificações em climas extremos sem recurso a equipamentos de climatização artificial. É adequada essencialmente em climas quentes e secos, onde a variação diária de temperatura é elevada [82].

Material- thickness	How much heat it holds (btu/in/8F)	Insulation (R value)
Solid concrete- 15cm	2.2 times better (15)	Insulates the worst (0.5)
Fired bricks- solid 10 cm	4.1 times better (8)	1.6 times better (0.8)
Fired bricks- rat trap 20 cm	3.3 times better (10)	2.8 times better (1.4)
Hollow conc. block- 20cm	4.1 times better (8)	2.2 times better (1.1)
CEB- 20cm	1.9 times better (17)	4.4 times better (2.2)
Mud block or cob- 40cm	Holds the most heat- (33)	8.8 times better (4.4)
Light earth - 48cm	1.7 or more times better (19)	11 + times better (5.3)

Figura 107 – Quadro comparativo de capacidade de retenção de calor e de isolamento térmico [65]

Em geral as construções vernaculares não possuem grandes aberturas, apenas as necessárias para ventilação e alguma iluminação. Inclusive, aberturas muito grandes não são aconselháveis a climas muito quentes e secos, pois permitem a entrada de ar quente e podem sobreaquecer a habitação. As poucas aberturas existentes nas paredes construídas com terra são geralmente feitas depois de a parede já estar executada, por demolição dos espaços correspondentes [82].

Habitações subterrâneas foram por vezes encontradas em climas muito secos, mas nunca em climas húmidos. Estas habitações aproveitam-se da temperatura da terra envolvente para regular as grandes variações de temperatura diárias, marcantes do clima seco [41].

É possível subdividir três sistemas fundamentais de técnicas de construção em terra: monolítica, por unidades, por enchimento e revestimento [6].

Monolítica: A construção monolítica é executada in situ, existindo em diversas formas. A taipa, por exemplo, consiste na compactação de terra húmida num taipal (cofragem de madeira).

Por unidades: Nesse caso as paredes de alvenaria de terra são executadas com unidades pré-fabricadas como o adobe ou, hoje em dia, o bloco de terra (BTC). Enquanto o adobe é um bloco produzido mediante a moldagem de terra plástica num processo mecanizado ou manual, o BTC produz-se pela terra no seu estado húmido num processo de fabrico mecânico ou hidráulico.

Por enchimento e revestimento: Esta técnica compreende o tabique ou a taipa à galega, também designada por taipa de mão, pau a pique ou barro armado no Brasil. A sua execução é realizada pela colocação de terra no seu estado plástico e ou cal, sobre um suporte engradado de madeira cana ou vime, ou ainda entre uma parede dupla de alvenaria de pedra ou tijolo.



Figura 108 – Paredes em terra sobre engradado de madeira [6]

Atualmente a utilização de sacos empilhados contendo terra para execução de paredes é uma maneira barata e fácil de construir e capaz de proporcionar bom conforto. O custo e o impacto ambiental são reduzidos uma vez que tijolos e blocos de betão são muito mais caros e com maiores consequências ambientais do que sacos de terra. Essas paredes por fim levam uma camada de reboco [84].



Figura 109 – Construção atual utilizando sacos contendo terra [84]

Uma das grandes barreiras atuais para a construção em terra passa pela falta de regulamentação própria, assim como o preconceito a este tipo de construção. São barreiras que com a promoção da construção sustentável têm aos poucos sido ultrapassadas, muitos países já estão a incluir as construções em terra nas suas normas e códigos. O reconhecimento da importância deste tipo de construção pode assegurar um futuro promissor à utilização da terra como material de construção [47].

Para resumir as vantagens das construções em terra, pode-se citar [82]:

- Economia: A utilização da terra proporciona, se for devidamente empregue, uma redução considerável dos custos de construção;
- Poupança energética: Permite consideráveis economias de energia por ser utilizado localmente, com baixos custos de transporte, e sem necessitar de ser submetido a transformações industriais. Durante a sua utilização também permite poupanças energéticas pelo fato de ter elevada inércia térmica e com isso contribuir para redução dos custos de climatização artificial dos edifícios;
- Papel ecológico: Não necessita de cozeduras a alta temperatura como os materiais industrializados, desta forma poupa ao meio ambiente a poluição da atmosfera;
- Papel político: É um material de utilização local, de acordo com as potencialidades de cada região;
- Papel cultural: Permite herdar costumes e cultura típicos de cada região, mantendo uma linguagem particular;
- Papel social: Permite reduzir os custos para habitações sociais.

No sudoeste asiático, pelo contrário, é comum encontrar as construções vernaculares leves e suspensas do solo sobre estruturas de madeira. Nesta região, além das estruturas, as paredes são também geralmente de madeira.

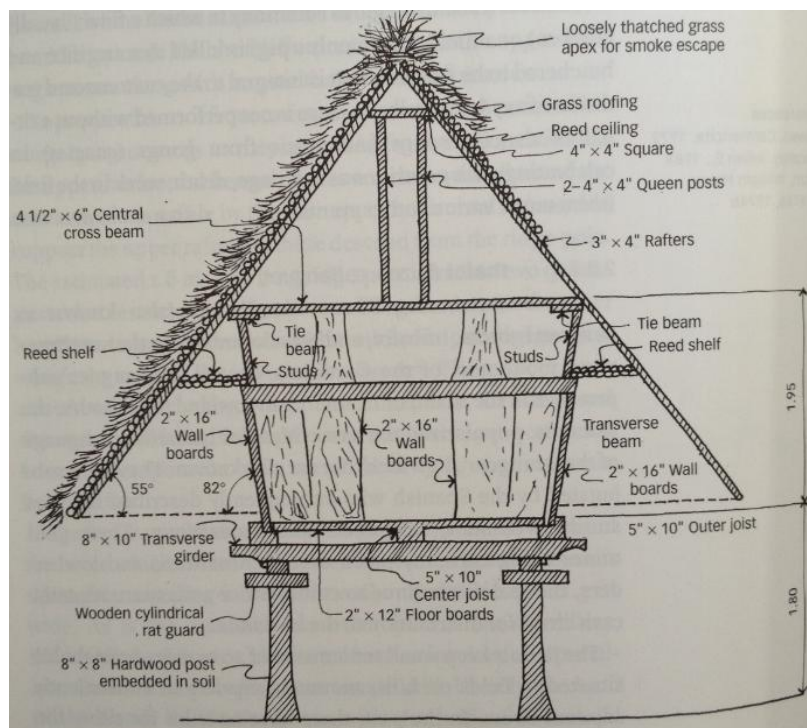


Figura 110 – Solução construtiva tradicional utilizando madeira, nas Filipinas [72]

A abundância de madeira na natureza e as suas boas características mecânicas, juntamente com a sua boa trabalhabilidade, levou este ser um material de construção de excelência nas construções vernaculares de muitas regiões. Com o aumento populacional e o desenvolvimento urbano, a madeira começou a escassear em algumas zonas do mundo e a ser substituída por materiais como o aço.

A madeira quando utilizada de forma consciente e não predatória é uma matéria-prima favorável para a construção civil sustentável. É um produto natural, renovável e há muito tempo utilizada e reconhecida como amiga da humanidade. Reúne vantagens como: baixo consumo energético no seu processamento, baixa emissão de poluentes e possibilidade de reutilização ou de reciclagem [39].

Material	Consumo de energia	Emissão de CO ₂	Impacto ambiental
Madeira	X	X	X
Aço	2,4X	1,45X	1,16X
Concreto	1,7X	1,81X	1,97X

Figura 111 – Comparação no fabrico de madeira, aço e betão [38]

No seu processamento não é necessário equipamentos sofisticados nem grandes gastos energéticos [60]. Na construção de 100.000 casas na Austrália, se fossem em estrutura de aço, haveria um incremento no consumo energético equivalente a cerca de 12×10^9 MJ, quando

comparadas com as mesmas casas construídas em estrutura de madeira. Esta energia adicional seria capaz de abastecer o consumo energético de 6.500 casas durante um período de 50 anos [38].

Para a produção da matéria-prima madeira, somente é necessário energia solar, água e nutrientes do solo, ou seja, não é necessário o consumo de energia secundária. Além disso, a floresta também contribui para a produção de oxigênio, acumulação de dióxido de carbono, melhoria do clima e filtragem do ar, purificação da água, prevenção contra enchentes e erosão. Portanto o cultivo de florestas e o uso racional de madeira trazem resultados positivos [38].

A extração e o transporte da matéria-prima são responsáveis pela maior parte do consumo energético da madeira na construção civil, especialmente devido as grandes distâncias entre as florestas e o local de construção. Distâncias muito grandes podem provocar um excessivo consumo de energia incorporada, não sendo viáveis. A energia necessária para derrubar, cortar e transportar a madeira é estimada em 580 Kwh/ton. [38].

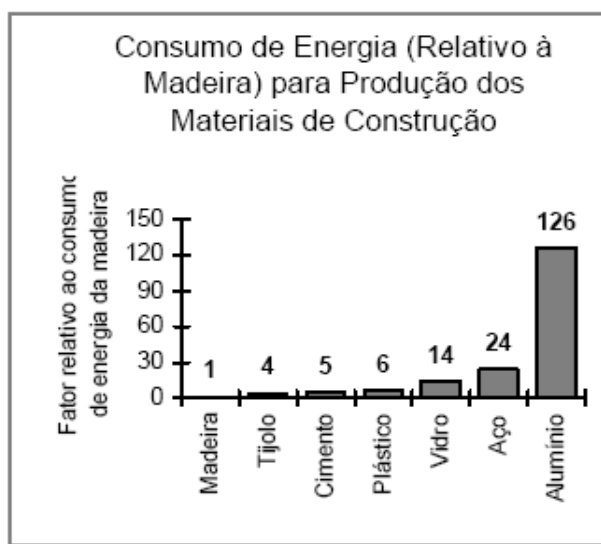


Figura 112 – Consumo de energia (relativo à madeira) para produção de materiais de construção [38]

A análise do ciclo de vida da madeira, mostra que esta pode ter melhor desempenho que o aço ou o betão no que refere-se à energia incorporada, emissão de gases, libertação de poluentes para o ar, produção de poluentes para a água e produção de resíduos sólidos. Mas para isso tem que se ter alguns cuidados [37].

A implantação de medidas que visam o uso racional e sustentável desse material deve considerar desde a minoração dos impactos destrutivos causados a exploração florestal, passando por medidas que diminuam a quantidade de resíduos e visem a reciclagem dos mesmos, até a ampliação do ciclo de vida do material por procedimentos que auxiliem na correta escolha do tipo de madeira e procedimentos de preservação [39].

Saber a procedência da madeira é fundamental no momento da compra do produto, optando por madeira de reflorestamento. A certificação florestal é uma ferramenta que garante a utilização e manutenção correta das florestas de acordo com regras pré-definidas [39]. A madeira de

reflorestamento contribui para o equilíbrio do meio ambiente, permite suprir as necessidades de construção mantendo protegidas as florestas nativas, os solos e os cursos de água [38].

Ao especificar o tipo de madeira a utilizar em projeto é importante considerar as características das peças e evitar excesso de cortes e emendas. É boa prática adequar o projeto às peças com medidas de mercado, e em obra é boa prática verificar a possibilidade de reutilização das peças de madeira [39].

Há diversas vantagens ambientais no uso da madeira na construção, como o fato de ser um material renovável. Além disso, as árvores são consumidoras de dióxido de carbono e libertadoras de oxigênio, portanto o plantio destas apresenta um balanço negativo de dióxido de carbono (CO₂) [37].

A madeira tem vantagem na razão resistência/peso quando comparada com outros materiais de construção, a qual é cerca de 20% superior a do aço e 5 vezes superior à do betão em compressão. Portanto verifica-se que a madeira tem elevada resistência quando comparada com o seu baixo peso. Desta forma é possível reduzir o tamanho e o peso das construções, e consequentemente também reduzir o efeito da ação sísmica [37].

A madeira é um material higroscópico, devido a sua estrutura alveolar e sua capacidade de absorver e perder água, sofre alteração do seu teor de água consoante a humidade relativa e a temperatura do ar no local onde se insere. Este é um fator positivo relativamente a contribuição para o controlo da humidade relativa no interior das casas, porém as variações do teor de água na madeira refletem numa variação de dimensões do material. Essas variações dimensionais são a causa de um grande número de patologias dos elementos de madeira, devendo por isso ter particular atenção. As distorções ocorridas neste processo não só alteram a forma da secção transversal, com a abertura de fendas, como também causa empeno das peças de madeira. Para minimizar as trocas de humidade entre a madeira e o ambiente, é conveniente que a aplicação da madeira no local seja feita com o teor de água o mais próximo possível do teor de água em equilíbrio para as condições de aplicação. Portanto verifica-se a importância de especificar o teor de água da madeira a fornecer [89].

A madeira seca funciona como um excelente isolador térmico, acústico e elétrico. Devido a estrutura porosa, a sua condutibilidade térmica é relativamente baixa, logo menor é a sua capacidade de transferir calor, ao contrário de materiais como o aço e o betão que funcionam como pontes térmicas. Por ser um mau condutor térmico, pode ser utilizada com boa eficiência como material de isolamento e corta-fogo. Ao contrário do que se pensa, possui também bom desempenho em casos de incêndio. Apesar de ser um material combustível, a sua taxa de combustão é relativamente lenta e as propriedades das zonas não ardidas mantem-se praticamente inalterada [37].

É um material facilmente trabalhável, suas ligações podem ser feitas por encaixe ou com colas, pregos, parafusos e cavilhas. Também tem a vantagem de ser resistente à água salgada, à oxidação e a outros agentes corrosivos [37].

Os fatores que afetam as propriedades da madeira são essencialmente: defeitos, teor de água e massa volúmica. Defeitos de uma peça de madeira são anomalias da estrutura do lenho ou resultado de ataques de agentes biológicos ou imperfeições de laboração, que possam alterar a qualidade e diminuir o valor comercial da peça. Por ser um material natural é também heterogêneo e anisotrópico [89].

O bom desempenho dos componentes de madeira depende da sua correta concepção, montagem e colocação em obra, mas também depende da correta escolha de materiais com características compatíveis. A espécie de madeira a empregar pode ser ditada à partida por razões estéticas, económicas ou históricas. Porém deve-se ter em atenção que diferentes espécies podem ter características mecânicas muito distintas e apresentarem melhor ou pior durabilidade [89].

A correta escolha da madeira é primordial principalmente em países tropicais onde há uma vasta variedade de espécies de árvores. Assim como a definição das condições de exposição e dos possíveis agentes deteriorantes, ou seja, a definição do risco a que a madeira está submetida. Definido o risco, adota-se métodos de tratamento e produtos preservativos (inseticidas e fungicidas) que conferem maior resistência contra os agentes de deterioração, proporcionando maior durabilidade. Os agentes de deterioração alteram propriedades originais, estes podem ser de natureza física, química e biológica (fungos e insetos xilófagos) [39].

Nas regiões tropicais húmidas encontram-se várias madeiras duráveis e de boa resistência a ataques de insetos. Por exemplo, espécies contendo resina são resistentes às térmitas [45]. Mesmo assim, não dispensam cuidados de proteção e preservação. Para o tratamento preservativo da madeira deve-se utilizar produtos e processos de menor impacto ao meio ambiente e à higiene e segurança. A aplicação de tintas e vernizes como acabamento de superfície das peças de madeira deve ter em atenção aspetos ambientais e de saúde, relacionado com emissões oriundas de solventes e substâncias nocivas ao meio ambiente e que podem causar riscos de saúde aos seres vivos [39].

A melhoria da durabilidade destas estruturas pode ser conseguida com recurso a tratamentos químicos de preservação e com periódicas ações de conservação da madeira. É possível manter em bom estado estes tipos de construção durante centenas de anos [37]. “Sabe-se que, ao ar seco e a abrigo das chuvas, sem contato com o solo, a madeira dura de 50 a 100 anos, podendo as resinosas ultrapassar 5 séculos. Em interiores secos, quentes no inverno, sem contato com o solo ou paredes húmidas, têm duração praticamente indefinida, da mesma maneira quando mantidas permanentemente imersas em água” [89].

Para melhor conservação dos elementos de madeira, é preciso fornecer proteção contra a humidade. Portanto é bom manter a madeira sempre o mais seca possível. A utilização de beirais, tintas ou vernizes adequados pode proteger da chuva as paredes das habitações de madeira. Para melhor durabilidade também é desejável evitar o contato direto da madeira com o solo [34].

Para resumir serão citadas as seguintes vantagens e desvantagens da utilização da madeira.

Quadro 9 – Vantagens da utilização da madeira na construção. Adaptado de [37] e [89].

Vantagens da madeira
Pode ser obtido em grandes quantidades e a preço relativamente baixo.
É um material de fonte completamente renovável. (através de políticas sustentáveis é possível garantir uma reflorestação contínua)
Pode ser produzido em peças de diversas dimensões.
É possível o aproveitamento completo da matéria-prima.
Pode ser trabalhado com ferramentas simples.
Muitas vezes pode ser reutilizada várias vezes, como por exemplo as cofragens.
Possui resistência tanto a esforços de compressão quanto a esforços de tração.
Permite a construção de vãos de grandes dimensões com reduzido gasto material.
É leve em peso, mas tem elevada resistência mecânica. Apresenta a mesma resistência à compressão que o betão de alta resistência, sendo superior ao mesmo na flexão (aproximadamente 450 para 45 kg/cm ²) e ao cisalhamento (aproximadamente 45 para 35 kg/cm ²).
Permite fáceis ligações e emendas.
A sua resiliência permite absorver choques que romperiam ou fendilhariam outro material.
Possui bom comportamento térmico e acústico.
Apresenta diversa variação de padrões no seu aspeto natural.
Possui boa durabilidade (desde que não se encontre frequentemente submetida a grandes variações de humidade e que receba os devidos tratamentos)
Os resíduos da indústria de madeira são em geral reutilizados (por exemplo, servem para a produção de derivados de madeira, como placas de aglomerado)
Apresenta possibilidade de reaproveitamento (é um material biodegradável e reciclável, desde que não seja contaminado com produtos químicos (colas, tintas, fungicidas, etc.)).

Quadro 10 – Desvantagens da utilização da madeira na construção. Adaptado de [37] e [89].

Desvantagens da madeira
É um material heterogéneo e anisotrópico.
É bastante vulnerável aos agentes externos. Quando desprotegido tem limitada durabilidade.
É combustível.
É sensível a variações de humidade, aumentando e diminuindo de dimensões.

Em muitas regiões da América, as paredes das ocas dos índios são estruturadas com madeira ou bambu que se prolongam desde as fundações até a cobertura, sendo uma estrutura única, recoberta com colmo, muitas vezes com folha de palmeira. Porém, ao contrário da madeira, o bambu não foi usado como estrutura principal na maioria das construções vernaculares. As habitações que utilizam bambu são normalmente suportadas por estruturas e fundações de madeira, sendo esta a responsável por encaminhar as cargas. Geralmente são paredes de bambu colocadas

verticalmente sobre a estrutura de madeira, deixando aberturas para janelas. Nesse caso, as varas de bambu fazem uniões flexíveis, pois tem pouco contato com a superfície do solo. Uma habitação desse material pode ser construída em algumas horas ou em poucos dias [66].

A cana de bambu tem vantagem de ser leve, mas ao mesmo tempo resistente a tração, compressão e a momentos fletores. Sua capacidade de resistir a esforços é elevada. Atua também como ótimo isolador térmico e acústico e tem custos acessíveis. O bambu é barato, uma vez que tem rápido crescimento e pode ser utilizado como material de construção após 3 a 6 anos de crescimento [84]. Uma construção de bambu pode ficar até 50% mais barata do que uma construção convencional. Desta forma pode ser uma boa solução para construção de habitações sociais.

O bambu não retém calor como o betão e permite bastante iluminação natural ao interior. Apesar de não ser totalmente impermeável a humidade, aos insetos e ao vento, o bambu tem capacidade de promover ambientes confortáveis [66].

O bambu também tem vantagem de ser um material facilmente trabalhável e de crescimento muito rápido. Praticamente todas as partes de uma casa podem ser feitas de bambu, desde o pavimento, aos pilares, as paredes e o telhado, inclusive as portas, janelas e mobiliário. A sua maior desvantagem é mesmo a vulnerabilidade a insetos, aos fungos e ao fogo. Assim, muitas construções feitas com bambu têm apenas carácter temporário [45].

Em geral os materiais orgânicos, como a madeira e o bambu, degradam-se mais rapidamente e os insetos representam grande ameaça para esses materiais. Embora atualmente existam métodos de proteção para os bambus, sejam resinas, óleos ou produtos químicos, esses produtos ainda não são muito difundidos e por vezes são caros ou prejudiciais a saúde humana ou ao meio ambiente [45]. O bambu tratado pode durar muito tempo, desde que não esteja diretamente exposto a chuva. Para evitar ataques de insetos, uma opção é a utilização desses materiais apenas no segundo piso da habitação ou sobrelevados do solo [84].



Figura 113 – Edifício em Bermuda, onde o piso térreo utiliza a terra como material de construção e o segundo piso utiliza a madeira [84]

O uso conjunto de terra e bambu também é uma prática existente, por exemplo na tribo Fula, na Guiné-Bissau. O bambu é cortado longitudinalmente e tecido em esteiras, formando uma estrutura espessa que é o principal constituinte das paredes, a qual é posteriormente revestida por lama no interior e no exterior, ou em apenas uma das faces. É adequado para climas quentes e húmidos, pois

o bambu tem vantagem de ser permeável à ventilação natural, enquanto as lamas conferem boa inércia térmica, principalmente se forem aplicadas pelo exterior [45].

Na época colonial, as construções passaram a ser menos sustentáveis relativamente a utilização de materiais importados, aos quais os colonizadores estavam acostumados e traziam de outras regiões, como algumas pedras e posteriormente tijolos. Sobretudo utilizavam construções bastante pesadas e por vezes pouco adequadas ao clima.

Mais recentemente, com a Revolução Industrial e a divulgação de materiais modernos, as construções passaram a ser ainda mais insustentáveis. A partir dos anos 50, os sistemas construtivos utilizados recorrem além do betão armado, à pré-fabricação de forma a diminuir os custos e prazos, como o uso de coberturas metálicas e revestimentos à chapa de alumínio [59]. A construção deste então passou a pensar em menores prazos de construção, com maiores facilidades e com menores custos, deixando para segundo plano as questões ambientais. Inclusive os processos de demolição pretendiam ser o mais rápido possível, o que tinha como consequência a mistura dos diversos resíduos de construção em aterro.

Hoje em dia, a escolha dos materiais de construção e processos construtivos volta a passar por preocupações que em tempos foram esquecidas. A necessidade de maximizar a reutilização e a reciclagem obrigou a criação de um novo princípio designado como “demolição seletiva”. Esse novo tipo de demolição é mais demorado e mais dispendioso que a demolição tradicional (aleatória), necessitando haver compensações que justifiquem tal decisão [6].

Como tudo no ecossistema é reciclado, não havendo desperdícios, um edifício ecológico também deveria ser assim, servindo-se da reciclagem, da reutilização e da eventual reintegração com meio natural envolvente, em complemento de um uso energético eficiente [4]. Mas é importante notar que nem sempre a utilização de materiais reciclados ou o aproveitamento de resíduos é uma medida sustentável, a medida em que as durabilidades destes materiais podem por em causa as suas vantagens ambientais [6]. Evidentemente é fundamental contabilizar as vantagens e desvantagens.

O uso de materiais de construção reciclados tem várias vantagens. Um exemplo das vantagens económicas da reciclagem dos resíduos de construção é a criação de postos de trabalho. Segundo a *Agência Ambiental dos Estados Unidos – EPA* (2002), enquanto a incineração de 10.000 toneladas de resíduos pode significar a criação de apenas 1 posto de trabalho, o seu depósito em aterro pode representar 6 postos de trabalho e a sua reciclagem pode significar a criação de 36 postos de trabalho.

Estudos têm vindo a procurar de modo inovador a reutilização de materiais na construção. O uso reciclado de garrafas PET é algo inovador como um básico material de construção que permite reduzir custos de construção e promover benefícios ambientais. Garrafas PET são inertes e com elevada durabilidade (100 a 1.000 anos), portanto é um material que necessita de ser reciclado. Pesquisas têm revelado que é possível ter construções eficazes com este material, além de contribuir para reduzir o lixo que essas garrafas proporcionariam ao ambiente [4].

Um projeto realizado no México, chamado ECOPET21, propõe a utilização de garrafas PET na construção e consiste em criar painéis modulares de 240 cm de altura por 120 cm de largura e 10 cm de espessura. Cada metro quadrado do painel requer 50 garrafas, uma casa com 90 m² necessita

de 9.000 a 12.000 garrafas. Tendo em consideração a produção anual de garrafas PET no México, cerca de 1.800.000 casas podem ser feitas anualmente com esse método de construção inovador [4].



Figura 114 – Processo de construção utilizando garrafas PET amarradas com fios metálicos [4]

A eliminação de resíduos, o reconhecimento das diferenças de desempenho dos materiais a longo prazo (ACV), a necessidade de mudança no consumo de recursos e nas necessidades humanas são características de um projeto ecológico. Para resumir, devem ser consideradas no contexto da sustentabilidade nos materiais de construção, o uso de materiais [6]:

- Não tóxicos;
- Com baixa energia incorporada;
- Recicláveis;
- Possíveis de reaproveitamento dos resíduos de outras indústrias;
- Provenientes de fontes renováveis;
- Associados a baixa emissão de gases que provocam efeito estufa;
- Duráveis;
- Que apresentem vantagens após uma análise do ciclo de vida.

2.5.2. Coberturas

Para os climas quentes tropicais, as temperaturas geralmente ultrapassam os 20°C. Assim sendo, a maior condicionante climática é evitar o sobreaquecimento fora das zonas de conforto térmico local. A aplicação de materiais com propriedades isolantes é favorável para contribuir para manutenção da temperatura interior mais constante, protegendo o edifício contra ganhos de calor, quando localizados corretamente. Em climas húmidos também servem para reduzir efeitos de condensações superficiais.

O colmo é um material de construção que consegue ter bons níveis de isolamento térmico. A sua utilização permite manter o calor no exterior do edifício, mantendo temperaturas agradáveis no

interior e ainda permite que a construção “respire”, ou seja, é permeável ao ar [60]. Por esta razão, ou não, o colmo é o material mais utilizado tradicionalmente nas coberturas de edifícios nos trópicos.

A durabilidade do colmo é muito variável conforme: o tipo de fibra utilizado, o clima, a exposição a agentes climáticos e a insetos, o cuidado e a técnica de construção, o bom senso de utilização e as ações de manutenção. Na melhor das hipóteses não dura mais que 100 anos [21].

Na ilha de Bali, por exemplo, uma cobertura tradicional feita com colmo de folha de palmeira tem durabilidade média de 30 anos [21]. Enquanto em Botswana, o colmo utilizando técnicas tradicionais dura entre 5 a 10 anos, no mesmo local, o colmo utilizando técnicas introduzidas pelos europeus dura entre 20 a 30 anos [56].

Esta informação em publicações, assim como a divulgada por empresas especializadas no setor, é portanto muito variável. Há livro que refere que coberturas de colmo de boa qualidade, bem construído e com regular manutenção podem durar até 40 anos [84], enquanto outro refere que pode durar mais de 30 anos, sendo que a durabilidade média é entre 3 a 7 anos [43]. Alguns fabricantes referem que o colmo de caniço-de-água (*Phragmites Australis*) pode durar até 50 anos quando aplicada por técnicos especializados e com os devidos cuidados de utilização e manutenção regular em cada 10 a 15 anos [Fonte: http://www.thatchingadvisoryservices.co.uk/Thatch_Guide.asp].

Entretanto, segundo informação disponível em revista especializada, a durabilidade da matéria-prima ao seu estado natural é bastante reduzida. A revista brasileira “*Arquitetura & Construção*”, na edição de Jan./93, apresenta valores médios de 3 anos de durabilidade para o sapé e para a folha de coqueiro e, para a piaçaba, uma média de 12 anos. Um artigo científico indica durabilidades entre 5 a 7 anos para a cana-de-açúcar e apenas 1 a 2 anos para o colmo de arroz, este artigo também compara os preços desses materiais em Bangladesh [88].

Type	Durability	Comparative cost
	(yr)	(%)
Rice straw	1–2	100
Wheat straw	2–3	60
Chon grass	5–7	75
Sugar cane cover	5–7	150

Figura 115 – Durabilidade de diferentes matérias-primas [88]

A inclinação e espessura da cobertura influenciam a durabilidade do colmo. Uma cobertura em colmo de boa qualidade deve ter 30 centímetros de espessura e ângulo de 45 graus [60]. É aconselhável ângulo mínimo de 30 graus para permitir que as águas das chuvas escoem rapidamente, evitando que a cobertura retenha água e, desta forma aumente de peso, podendo também infiltrar água para o interior das habitações. A absorção de água pelo material causará a degradação mais rápida [43].

O sol e o vento também são riscos de exposição das coberturas de colmo, mas contribuem para manter o material seco [21]. A adoção de cobertura muito leve pode trazer problemas em dias

muito ventosos. Há exemplos de tribos na Nova Zelândia que retiravam as suas coberturas em dias de muito vento [72].

Além disso, insetos e pássaros são outros agentes que degradam o colmo, mas um dos principais problemas da cobertura em colmo é o seu risco de incêndio. Devido a este risco muitas habitações ancestrais com cobertura desse material criaram técnicas para promover a maior segurança. Por exemplo na tribo Balanta, na Guiné-Bissau, as coberturas levavam um forro especial, constituído por gradeamento de madeira revestido de barro, sobre o qual assenta a estrutura do telhado. Devido a cuidados como este a durabilidade da construção é elevada, mantendo-se em bom estado durante anos. Apenas o colmo tem que ser substituído regularmente [45].

O risco de incêndio é maior em cidades, sendo por isso mais utilizado atualmente em habitações fora das cidades. Inclusive os atuais seguros de casas de palha são mais elevados do que a média. Mas, mesmo assim, a sua queima é relativamente lenta e há produtos químicos que permitem diminuir ou retardar a ação do fogo sobre o colmo, ainda que nada seja mais seguro do que o usar o bom senso e evitar os vandalismos [42].



Figura 116 – Construção de uma cobertura com estrutura de madeira independente das restantes partes da construção [56]

O revestimento de colmo normalmente assenta sobre uma estrutura de madeira, a qual pode ser construída em conjunto com as restantes partes do edifício ou feita separadamente e depois colocada sobre as paredes já prontas. Somente após a estrutura estar construída e fixada no local é feito o revestimento de colmo.

A utilização do colmo em coberturas estendeu-se por quase todos os climas tropicais, desde os secos aos húmidos. Em climas húmidos era utilizado com estrutura de construção leve, geralmente com uso do bambu ou madeira na estrutura. Em climas secos era utilizado geralmente em conjunto com a terra ou a pedra.

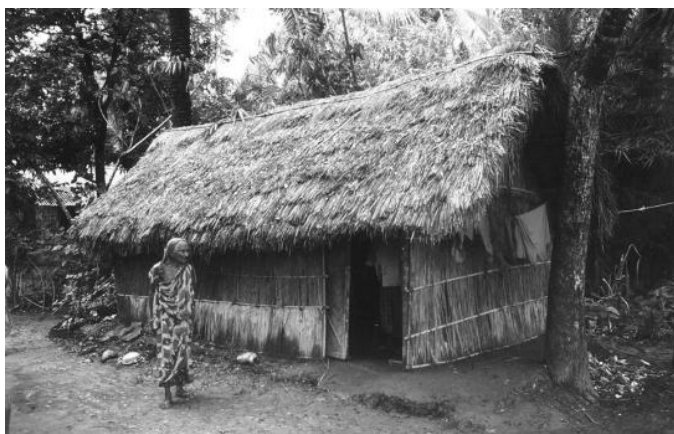


Figura 117 – Construção tradicional em Bangladesh, clima tropical húmido [88]
Solução construtiva contemplando bambu nas paredes, com reboco de barro na base, cobertura em colmo de palha de arroz suportado por estrutura em bambu



Figura 118 – Construção de cobertura em colmo, assente sobre paredes de terra [60]

Antigamente caniços e capins eram abundantes nos campos e as pessoas podiam coletá-los livremente sem custo para utilizações em suas construções. Hoje em dia, com a maior ocupação do solo, o mesmo não é possível de se fazer. Esta matéria-prima para produção de elementos construtivos em colmo passou a ser comercializada, mas mesmo assim apresenta um preço bastante acessível, principalmente quando comparado com outros materiais de construção [60].

Porém, o problema da utilização do colmo prende-se com o trabalho que ele requer para construção e a regular necessidade de se realizar manutenções, o que no mundo atual se torna muito caro. Mas em regiões onde o tempo e a mão-de-obra não são fatores fundamentais, este pode ser um material para construções a baixo custo [60].

Esse material, proveniente da agricultura, necessita de muito trabalho manual na sua laboração. Em outros tempos este não era um problema. Inclusive as ligações entre os elementos de estrutura da cobertura, em madeira ou bambu, eram feitas artesanalmente, realizando cortes nas madeiras de forma a obter ranhuras que permitam encaixar os vários elementos, ou então poderiam ser feitas amarrações entre os elementos com recurso a cipós, tiras de folhas de palmeiras, entre outros materiais naturais. Hoje em dia quase tudo é feito industrialmente, geralmente com recurso a fixações metálicas.



Figura 119 – Exemplo de sistema construtivo tradicional utilizando colmo e bambu [45]

O conjunto desses materiais tradicionais ainda hoje é utilizado para cobertura em algumas regiões agrícolas, mas já não é comum na habitação principal. Atualmente em Cabo Verde, por exemplo, a palha mais utilizada é a folha da cana-de-açúcar, mas a cana de carriço é ainda utilizada para fazer tetos falsos e celeiros em regiões agrícolas. A cana de carriço pode ainda ser utilizada para fabrico de divisórias leves e janelas, mas pouco utilizada atualmente, devido a escassez do carriço e o gradual desaparecimento de artesões que fabricam [44].

Atualmente a maioria das pessoas prefere o uso de telhas ou materiais metálicos na cobertura pois não correm o risco de incêndio, são de mais simples construção e totalmente impermeáveis as águas da chuva. Mesmo que sejam mais nocivos ao meio ambiente, gastem mais energia elétrica e sejam mais pesados, logo com maiores gastos em transporte e com necessidades de assentar em estruturas mais robustas [43]. Nota-se a preferência pelo zinco na substituição do colmo em coberturas. O zinco pode ter até boa durabilidade, quando tratado, e é impermeável, mas tem baixa capacidade de isolamento térmico e acústico [45].

Em geral, coberturas metálicas são bastante baratas mas podem causar muito barulho em dias de chuvas fortes e outros inconvenientes [84]. O uso de material metálico para cobertura sem proteção de isolamento, deve ser evitado pois levar ao agravamento de situações de sobreaquecimento interno. A longo prazo a chapa metálica perde refletividade e transmite ainda mais calor para o interior das habitações [44]. Por exemplo, a figura a seguir exemplifica uma habitação tradicional em madeira onde a cobertura original foi substituída por chapa metálica, a qual provocou um aumento de temperatura no interior da habitação, além de despromover a cultura local e apresentar-se bastante degradada devido a ações climáticas [4].



Figura 120 – Habitação tradicional, com substituição do telhado tradicional por chapa metálica industrial [4]

Uma boa prática é a utilização do sistema construtivo misto de cobertura onde o colmo é sobreposto em chapa ondulada de material metálico. Essa conjugação possui benefícios de impermeabilização e maior durabilidade conferidos pela sub-capa metálica, além da capacidade de isolamento térmico do colmo [45].

Enquanto em zonas húmidas as construções costumam utilizar terra apenas nas paredes, sendo a cobertura de colmo sobre estrutura de madeira ou bambu, independente das paredes de terra, em climas quentes e secos é comum encontrar coberturas feitas de terra, geralmente com 30

centímetros de espessura e suportadas por estruturas de madeira ou bambu. Essas coberturas necessitam de periódica manutenção da camada de recobrimento [21].

O uso da terra em coberturas também tem ótima capacidade de isolamento, e inclusive é o material tradicional mais utilizado em coberturas de regiões extremamente secas. Nas regiões desérticas não há crescimento de vegetação necessária para utilização em coberturas, portanto a utilização de terra em todo o sistema construtivo foi uma solução encontrada. De forma semelhante, hoje em dia há coberturas verdes que aproveitam da capacidade de isolamento térmico da terra.



Figura 121 – Sistemas construtivos em terra [53]

Apesar das vantagens ambientais, económicas e sociais, como a preservação da história e cultura dos nossos antepassados, nas grandes cidades o uso de um material prende-se muito com o seu status. Materiais tradicionais naturais são facilmente rejeitados atualmente, mesmo por pessoas com fraca capacidade económica [45].

3. ANÁLISE DAS CONSTRUÇÕES TROPICAIS SEGUNDO PRINCÍPIOS BIOCLIMÁTICOS

A arquitetura bioclimática, ou seja, o desenho dos edifícios tendo em considerações as condições climáticas, permite minimizar os impactos ambientais e reduzir o consumo energético. Muitas construções hoje em dia não têm preocupações em seguir os princípios bioclimáticos, recorrendo a meios mecânicos de climatização e iluminação interior e desta forma consumindo recursos que poderiam ser evitados.

Embora esse conceito pareça novo, os princípios bioclimáticos são tradicionalmente utilizados desde a antiguidade. O desenho das cidades romanas de acordo com a orientação solar ou os pátios interiores de origem árabe são exemplos da adaptação da construção às condições climáticas locais.

Numa primeira análise para a conceção de uma arquitetura bioclimática é preciso pensar em três questões fundamentais:

- ➔ Seleção do lugar de construção
- ➔ Seleção da forma do edifício
- ➔ Seleção da orientação solar do edifício

A análise das construções tradicionais segundo requisitos bioclimáticos deve ser feita a nível urbano e a nível do edificado. A análise global compreende a inter-relação do edifício como um elemento inserido num meio urbano, o qual influencia a ventilação, iluminação, absorção de calor, entre outros fatores que são fundamentais considerar para proporcionar o conforto. Enquanto a análise do edificado como um elemento único refere-se ao seu posicionamento geográfico, formas e soluções construtivas que influenciam essencialmente o conforto dentro do próprio edifício.

3.1. Análise urbana

A escolha do local de implantação das cidades, a disposição das ruas e a orientação das edificações são fatores-chave para iniciar um projeto de arquitetura. No desenho das cidades, é preciso fornecer espaços confortáveis para a locomoção das pessoas, portanto as ruas devem ser orientadas de forma que pelo menos um dos lados sempre se beneficie de sombreamento. [26]

Para obter melhor conforto acústico e maior privacidade, os edifícios devem ser construídos a uma distância conveniente da estrada de maior circulação e quando necessário e possível, devem ser implantadas barreiras que possam absorver as ondas sonoras, como por exemplo arbustos. A necessidade de privacidade visual e acústica deve ser levada em conta como um fator de ordem social que pode afetar negativamente o conforto ambiental das habitações [3].

É importante ressaltar, que a organização espacial urbana não apresenta iguais necessidades para todos os climas. Como âmbito da dissertação, será feita a análise do urbanismo em climas tropicais húmidos e climas tropicais secos. Ambos são climas quentes e com fortes necessidades de arrefecimento, porém essas necessidades não são uniformes nos dois. Conforme

foi mencionado anteriormente, o clima seco apresenta amplitudes térmicas diárias muito maiores do que os climas húmidos. O nível de insolação também é muito maior em climas secos, onde o céu permanece maioritariamente limpo, do que em climas húmidos, onde a humidade provoca grande acumulo de nuvens.

A vegetação e a humidade relativa entre os dois climas também são bastantes distintas. Regiões de clima tropical húmido dispõem de abundante vegetação, desta forma o urbanismo pode integrar-se no meio de forma aproveitar o efeito refrescante que a vegetação pode proporcionar, através da criação de praças e ruas arborizadas.

Ainda para o clima tropical húmido, tem-se que as temperaturas diurnas e noturnas apresentam pouca variação, ou seja, pequena amplitude térmica diária. Como não há grandes variações de temperatura, o efeito da inércia térmica é reduzido, sendo mesmo indesejável pois pode causar acumulo de calor. Assim também, o efeito de ilha-de-calor torna-se bastante indesejável, pois o microclima formado durante o dia não iria ter condições suficientes para dissipar o calor durante a noite.

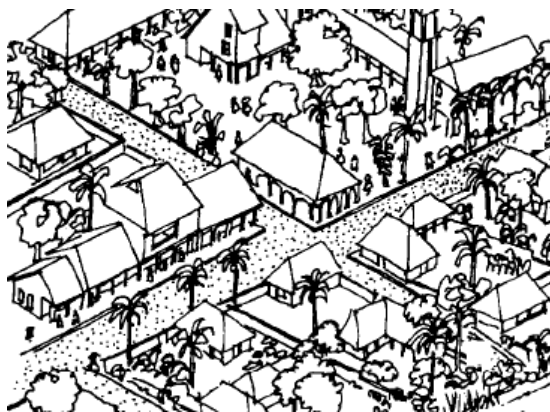


Figura 122 – Idealização urbana para climas tropicais húmidos. Adaptada de “Manual do arquiteto descalço” [34].

Um “canyon” urbano é uma rua ou avenida ladeada por edifícios em ambos os lados. Segundo estudos [4], é constatado que um “canyon” urbano com edifícios baixos e afastados entre si (baixo rácio H/W) é mais quente durante o dia, mas durante a noite pode arrefecer mais rapidamente do que um “canyon” com edifícios altos e próximos entre si (alto rácio H/W). Desta análise, é possível perceber que para climas quentes e húmidos, com pequenas amplitudes térmicas, e céu geralmente com muitas nuvens, é favorável um “canyon” com baixo rácio H/W, pois nesses climas há maior dificuldade de durante a noite dissipar o calor diurno recebido. A maior abertura à atmosfera, obtida com o maior afastamento entre os edifícios, neste caso pode ser favorável pois facilita o arrefecimento noturno.

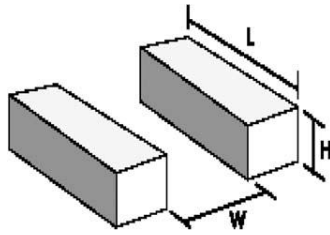


Figura 123 – Altura e largura de um “canyon” urbano [4]

Segundo Elias Salleh, em *“Tropical Sustainable Architecture”*, um “canyon” urbano ideal tem dimensão altura/ largura (H/W) 3:1, o que permite adequado sombreamento e controlo térmico, servindo para circulação de pessoas e veículos e realização de atividades comerciais e sociais. Enquanto Koenigsberger, *et al.* (1975) em *“Manual of Tropical Housing and Building Part I: Climatic Design”* diz que é necessário um espaço entre edifícios equivalente a 6 vezes altura dos mesmos para possibilitar uma adequada ventilação. Outros estudos sugerem outras metodologias.

De fato em edifícios que são espaçados uns dos outros é possível obter um conforto melhor em climas tropicais húmidos. Entre os benefícios estão: circulação do ar; mais luz solar sobre os espaços abertos (vias publicas, parques, etc.); redução do efeito de ilha-de-calor; redução do custo com climatização artificial devido a um aumento da ventilação natural; mais privacidade entre vizinhos; mais espaços à realização de atividades sociais; permite manutenção de áreas verdes; e permite futura expansão da área edificada [4].

Analisando agora regiões de clima tropical seco, as quais têm forte insolação, é de máxima preocupação fornecer o sombreamento. Nota-se que com edifícios mais próximos entre si é possível promover mais espaços com sombra e menor área de fachadas expostas a radiação direta. Portanto, edifícios altos e relativamente próximos entre si, resultam em menores ganhos de radiação solar devido ao sombreamento provocado pelos edifícios e em maiores fluxos de correntes de ar quando posicionados adequadamente. Esses são pontos favoráveis para melhorar o conforto externo nessas regiões e para realização de atividades ao ar livre [4].

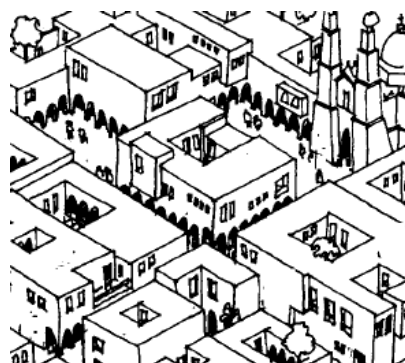


Figura 124 – Idealização urbano para climas tropicais secos. Adaptado de “Manual do arquiteto descalço” [34].

De um modo geral, quanto maior a densidade, mais longe do solo se dará a absorção de radiação solar. Um espaço muito denso, com edifícios altos e ruas estreitas, o calor é absorvido muito

acima do nível do solo, existindo um amortecimento do ciclo térmico e normalmente a temperatura permanece estável durante o dia. O oposto acontece numa área pouco densa, onde os edifícios estão mais expostos ao clima externo e a radiação solar direta e desta forma as temperaturas estão mais variáveis conforme as temperaturas exteriores.

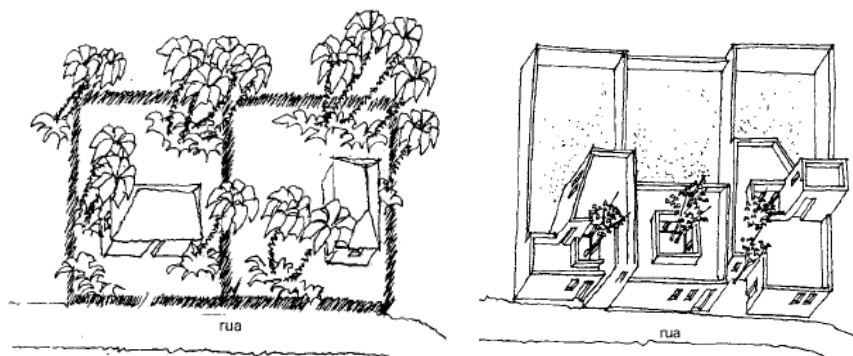


Figura 125 – Loteamento adequado para clima tropical húmido (à esquerda) e adequado para clima tropical seco (à direita) [34]

A configuração dos “canyons” urbanos também tem influência sobre a ventilação das cidades, quanto maior a altura dos edifícios, maior será a velocidade do ar. Enquanto reduzidas alturas de edifícios provocam menores velocidades do ar. Se forem colocados alguns edifícios altos, estrategicamente, é possível aumentar as velocidades e fluxos de ar no “canyon” [4].

Estudos também comprovaram que variando a altura entre edifícios é possível obter melhor iluminação natural. Tal variação permite uma melhoria de 20-30% no caso da iluminação natural e 25-70% no caso da ventilação natural. Esses estudos são mais relevantes para cidades com edifícios de grandes dimensões, para cidades com edifícios de pequenas dimensões tal conclusão é pouco relevante [4].

Em climas tropicais, em geral, a orientação das ruas deve privilegiar a ventilação e formar correntes de ar agradáveis e refrescantes. O posicionamento das construções pode impedir a ventilação de algumas ruas e formar correntes de ar excessivas em outras. Nota-se que em cidades compactas uma pequena variação da velocidade do vento tem grande influência sobre o conforto térmico, pois os edifícios canalizam o ar aumentando até cerca de 4 vezes a velocidade do vento [4].



Figura 126 – Ventilação urbana [34]

A orientação da rua no primeiro caso forma uma barreira à ventilação da rua. No segundo caso o vento dominante chega a todas as construções.

Em regiões quentes litorais, é favorável que o desenho urbano privilegie os ventos vindos do mar (brisa húmida e refrescante) e evite os ventos quentes continentais [24].



Figura 127 – Traçado urbano privilegiando a brisa do mar e evitando o ar quente continental [24]

Se o local de construção for uma região montanhosa, os edifícios devem ser implantados nas zonas mais baixas da montanha e acima do leito das ribeiras, pois é o local onde circula mais ar. Além disso deve-se privilegiar o lado da montanha em que há maior tempo de sombra. É importante estudar os ventos dominantes para otimizar a ventilação natural interior [26].



Figura 128 – Otimização do sombreamento nas construções em encosta [26]
O esquema a direita é mais favorável a climas quentes, pois beneficia do sombreamento causado pela montanha

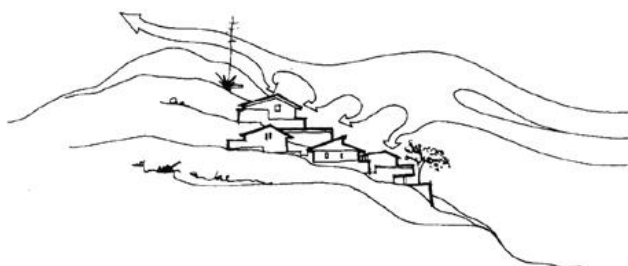


Figura 129 – Esquema de posicionamento do edificado privilegiando os ventos dominantes [26]

Em geral, nossos ancestrais tiveram em atenção esses fatores para decisão do local de implantação dos povoados. Ainda que sem grande tecnologia e conhecimento, perceberam que um adequado posicionamento pode trazer maior conforto aos seus abrigos, tendo em consideração o relevo, o vento e o sol.

Ao analisar as construções em tribos de climas tropicais húmidos é possível verificar um certo afastamento entre as construções e a integração destes com a natureza envolvente, por vezes abrigando-se em sombras de árvores. O afastamento permite melhor ventilação natural e maior dissipação de calor, conforme foi aqui explicado.

A promoção da ventilação natural em climas húmidos foi uma necessidade encontrada no planeamento urbano das tribos há centenas de anos. Estratégias para melhorar a ventilação em povoamentos de climas húmidos foram elaboradas, como por exemplo na Indonésia, onde o vento não é frequente e a humidade é alta, a ventilação natural é otimizada com a sobrelevação das construções, passando o ar por zonas sombreadas, logo com temperaturas mais amenas [41].

Em climas tropicais secos é verificado o oposto. Os povos primitivos já tinham consciência que uma forma de evitar o sobreaquecimento das suas construções era posicionando-as muito próximas umas das outras. Conforme explicado anteriormente esta estratégia diminui as áreas de fachadas expostas ao ar exterior e a radiação solar. Esse posicionamento implica numa maior densidade populacional e por vezes resulta numa maior verticalidade das construções de climas secos em relação aos climas húmidos.

Analisando como fator principal a ocupação do solo e a redução de áreas verdes e os deslocamentos dentro das cidades, ter uma elevada densidade urbana, ou seja, edifícios com muitos habitantes, é por vezes preferível. Desta forma é possível ter menor ocupação do solo, menor devastação de áreas verdes, menor tempo gasto em deslocações, menor necessidades de construir estradas, maior viabilidade do transporte público, entre outras vantagens. Por outro lado pode provocar conflito entre o aproveitamento da luz natural, a ventilação natural, a privacidade dos habitantes e maior poluição do ar, e em situações extremas pode conduzir ao sobreaquecimento [4]. Portanto um aumento da densidade urbana resolve alguns problemas, mas por consequência traz outros. Sua viabilidade deve ser analisada e debatida para cada local em específico [8].

3.2. Análise do edificado

Segundo Bustos Romero, em "*Princípios bioclimáticos para o Desenho urbano*", nas regiões de clima quente e húmido, as variáveis do clima que se deve ter atenção são a intensa radiação solar, altas taxas de humidade do ar associada a temperatura elevada e grandes índices de precipitação. Nas regiões de clima quente e seco, as variáveis do clima que se deve ter atenção são insolação elevada, diferenças acentuadas de temperatura entre o dia e a noite, humidade relativa do ar baixa e ventos carregados de pó e areia. A falta de água e as altas temperaturas nas regiões de clima seco tornam este clima mais severo.

Quadro 11 – Elementos do clima a serem controlados, Bustos Romero [Fonte: “Arquitetura Bioclimática do Espaço Público”, pág. 54]

Elementos	Quente-Húmido	Quente-Seco	De Altitude
Temperatura	Reduzir a produção de calor em razão da condução e da convecção dos impactos externos	Reduzir a produção de calor em razão da condução e da convecção dos impactos externos	Idem na estação seca diurna
Vento	Aumentar o movimento do ar	Reduzir o ganho por convecção. Promover a ventilação noturna	Aumentar o movimento do ar na estação húmida e na estação seca sem poeira
Humidade	Evitar a absorção de humidade e diminuir a pressão de vapor. Favorecer as perdas por evaporação	Aumentar a humidade através de superfícies de água, favorecendo a evaporação	Aumentar na estação seca diurna e noturna
Radiação	Reduzir a absorção de radiação. No verão promover as perdas	Reduzir a absorção da radiação e promover as perdas. No inverno reduzir as perdas noturnas	Reduzir a absorção de radiação urbana, permitindo-a nos edifícios na estação seca
Precipitação	Proteção máxima nos espaços públicos	Proteção mínima nos espaços públicos	Variável

Resumindo a tabela acima, verifica-se que para ambos os climas há necessidade de reduzir os ganhos de calor por condução, por convecção e por radiação. No clima quente seco é favorável evitar perdas por radiação em noites frias. Em relação a ventilação, é favorável o movimento do ar em climas húmidos, de forma a evitar a concentração de humidade e promover brisas de ar refrescantes. Enquanto para os climas secos, as trocas de ar com o ambiente exterior são indesejáveis durante o dia, pois provocam ganhos de calor por convecção e além disso movimentam um ar com muita poeira existente nesses climas.

Em ambos os climas, seco e húmido, é favorável promover as perdas por evaporação, o arrefecimento evaporativo, principalmente nos climas secos. Também é útil nos climas húmidos porque os dias mais quentes sem chuvas sempre tendem a ter uma humidade relativa do ar suficientemente reduzida e assim o arrefecimento evaporativo é bastante eficiente. Mas, nos climas húmidos, é preciso ter em atenção a necessidade de favorecer a ventilação para diminuir a pressão de vapor de água no ar.

As regiões tropicais são favorecidas de boas taxas de iluminação natural, ao contrário de outros climas. Não há tanta necessidade de grandes vãos abertos para fazer chegar a luz solar para o interior das habitações, principalmente nas regiões secas, onde o céu é bastante limpo.

Segundo Van Lengen, em “Manual do arquiteto descalço”, a construção em regiões tropicais húmidas deve seguir os seguintes critérios para melhor eficiência:

- ➔ Optar por construções sobrelevadas para maior aproveitamento dos ventos para ventilação e para evitar a humidade ascensional do solo;
- ➔ Construção leve, com baixa inércia térmica;
- ➔ Cobertura inclinada para escoamento das águas das chuvas;
- ➔ Janelas de grandes dimensões para melhor ventilação;
- ➔ Edifícios afastados entre si para que o ar circule mais facilmente;
- ➔ Uso de varandas para sombreamento, ventilação e proteção contra precipitação.



Figura 130 – Edifício com arquitetura ideal para as condicionantes climáticas em clima tropical húmido

Ainda segundo Van Lengen [34], a construção em regiões tropicais secas deve seguir os seguintes critérios para melhor eficiência:

- ➔ Construção maciça, com grande inércia térmica;
- ➔ Janelas de pequenas dimensões para evitar a poeira e a radiação solar;
- ➔ Edifícios próximos entre si, com menos paredes expostas à radiação solar;
- ➔ Uso de pátios internos para ventilação.

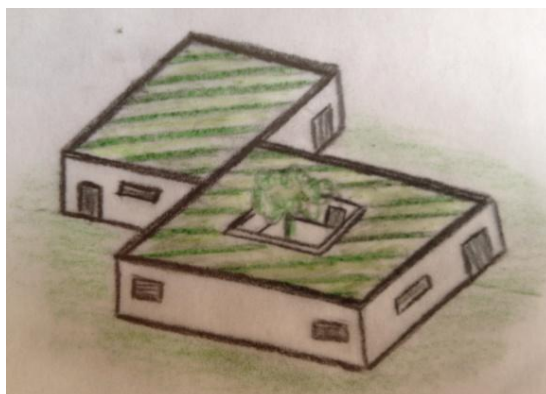


Figura 131 – Edifício com arquitetura ideal para as condicionantes climáticas em clima tropical seco

Nas zonas de clima quente e seco, o ar com poeira e a intensa radiação solar têm de ser levados em consideração. Janelas devem ser de pequenas dimensões e as coberturas planas, de modo a apresentar menor superfície para absorver energia solar. Os telhados e paredes, se pintados de cores claras, podem refletir a radiação. A geminação de edifícios em banda é vantajosa, uma vez que a construção de edifícios próximos uns dos outros permite evitar o máximo possível de insolação e exposição das fachadas ao ambiente exterior, desta forma um edifício compacto terá vantagens para o controlo de trocas de calor [1], [3].



Figura 132 – Geminação de edifícios minimiza o risco de sobreaquecimento por absorção solar [3]



**Figura 133 – Expansão vertical inadequada [3]
Promove área de fachada dominante, contribuindo para o sobreaquecimento.**

Para zonas de clima tropical húmido, um edifício adequado apresenta sobrelevação do pavimento, é uma construção leve (baixa inércia térmica) e apresenta grandes janelas para ventilação, com sombreamento estratégico e telhado inclinado. A presença de árvores é favorável, formando um microclima mais ameno (arrefecimento evaporativo e sombreamento). Compartimentos grandes são convenientes para melhor renovação de ar [90].

As coberturas inclinadas e com grande volume de ar facilitam também a ventilação em climas húmidos. As aberturas localizadas a uma posição alta permitem grande taxa de dissipação de calor. O ar quente sobe e é evacuado preferencialmente por aberturas na cobertura. Assim as coberturas nas zonas de clima tropical húmido devem ser mais inclinadas, pelos seguintes motivos [34]:

- ➔ Escoamento mais rápido da chuva;
- ➔ Menor absorção solar (um plano inclinado absorve menos radiação solar do que um plano em ângulo reto);
- ➔ Barreira de ar (forma-se um maior espaço de ar que evita a penetração de calor).

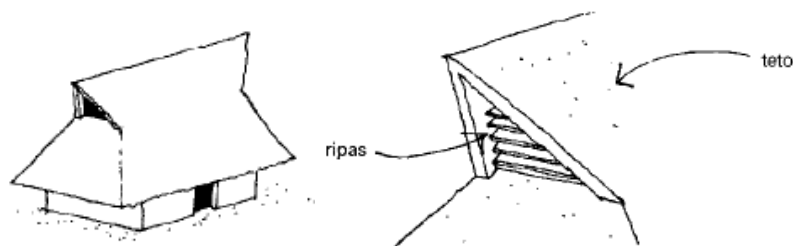


Figura 134 – Cobertura adequada para climas tropicais húmidos [34]

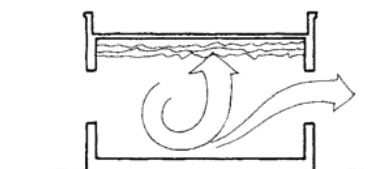


Figura 135 – Projeto Inadequado, o ar quente não encontra uma abertura e é acumulado no teto da habitação [3]

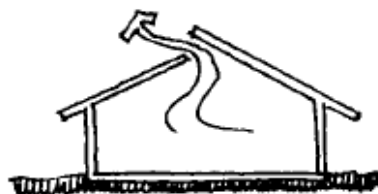


Figura 136 – Projeto adequado, o ar quente deve sair pelas aberturas no teto da habitação [34]

O excesso de sol provoca a necessidade de sombra, o excesso de chuva provoca a necessidade de grandes vãos de cobertura inclinada, o excesso de humidade relativa necessita ser controlado com ventilação. É então conveniente nos climas húmidos que os beirais sobressaiam em relação as fachadas e ter aberturas nas partes mais altas das coberturas para evacuação de ar saturado quente. As aberturas devem ser de forma a impedir entrada de chuva e evitar entrada de radiação solar direta [34].

Em climas quentes e húmidos, as construções não dispõem dessa grande variação de temperatura ambiente entre o dia e a noite e, conseqüentemente, sua massa térmica deve ser a menor possível, pois é preciso evitar ao máximo que o calor se acumule na construção, o que faria com que a temperatura em seu interior se mantenha sempre (de dia e de noite) maior do que a temperatura ao ar livre. Por exemplo, durante o dia, o sol aquece o telhado a temperaturas que podem chegar a 70° e, se a massa térmica é muito grande, esse calor tem dificuldade de ser dissipado durante a noite. Para evitar isso, as construções em climas de pequenas amplitudes térmicas diárias devem ser construídas maioritariamente de materiais leves e finos.

O mesmo não se verifica em climas quentes e secos, com grandes amplitudes térmicas diárias. Nesses climas o efeito da inércia térmica é favorável para acumular o calor diurno durante as noites mais frias. E da mesma forma para manter a temperatura noturna durante os dias quentes.

O aproveitamento da inércia térmica dos materiais é visto como uma técnica passiva útil para controlar variações de temperatura exterior, pois atrasa as trocas de calor por condução com o exterior. O pico de temperatura interna acontecerá algumas horas após o pico da temperatura externa, o que representa um amortecimento e retardo térmico na temperatura interior em comparação com a exterior. A alta inércia térmica dos materiais de construção maciça diminui os

valores máximos de temperatura interior, conferindo melhores condições de conforto às habitações [24], [26].

Um edifício semienterrado, em taludes ou coberto com terra, é favorável ao clima quente e seco. Pois, o solo ajuda a proteger contra os ganhos de calor, além de contribuir com inércia térmica para manter a temperatura interior constante ao longo do dia. O solo ganha e perde calor lentamente, assim o calor armazenado durante o dia pode ser útil para manter a temperatura de conforto em noites mais amenas [24],[34].

O desempenho da massa térmica depende de características construtivas, como o coeficiente de transmissão térmica e o calor específico dos materiais empregues, o qual representa a capacidade física desses materiais armazenarem calor. Quanto maior a massa térmica, maior o calor retido, o qual pode ser devolvido ao interior quando a temperatura do ar for menor que a da superfície. Assim pode-se utilizar o calor acumulado durante o dia nos materiais de construção para aquecer a habitação durante noites frias [24].

Após um certo tempo o calor começa a acumular na massa térmica do edifício. Portanto o uso benéfico da inércia térmica deve ser conjugado com estratégias de ventilação para remover o calor acumulado, principalmente com ventilação noturna [44].

Para muitos projetos de habitação sustentável em climas tropicais, a ventilação natural é a técnica de arrefecimento passivo com maior eficiência. Essa técnica consiste no fluxo de ar entre o exterior e o interior sem utilização de meios mecânicos. A ventilação natural é originada por dois fenómenos naturais:

- Diferenças de pressão criadas pelo vento
- Diferenças de temperatura entre o exterior e o interior (“efeito chaminé”)

O primeiro caso utiliza a pressão do vento, assim apenas pode ser aplicada eficazmente em espaços com correntes de ar com alguma velocidade. Por outro lado, a ventilação por efeito de gradientes térmicos é criada por diferenças de temperatura entre os ambientes interior e o exterior, por esse motivo apresenta melhores resultados em climas frios, onde a temperatura interior é bastante diferente da exterior [4].

O desenho urbano tem grande influência sobre a ventilação por ação do vento, edifícios vizinhos podem causar obstrução do vento. Para uma ventilação eficaz tem-se de ter conhecimento da orientação e intensidade do vento em torno do edifício, esta informação é disponível em institutos meteorológicos. Além dos ventos dominantes, os ventos de terra durante a noite e a brisa do mar durante o dia também são importantes [44].

As aberturas de ventilação devem ser amplamente distribuídas e de modo a que o ar percorra todo o espaço interno. O ar exterior deve idealmente entrar pelos compartimentos principais (quartos e salas) e sair pelos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias).

A ventilação por diferenças de gradientes térmicos (“efeito chaminé”) é apropriada, em clima tropical, somente para edifícios altos e principalmente em situações em que a ventilação por ação do vento é ineficaz ou inadequada, como por exemplo quando o vento possui baixa velocidade ou um padrão imprevisível. Em climas quentes, o desempenho deste tipo de ventilação é mais fraco do que

da ventilação por ação do vento, pois requer maiores diferenças de temperatura. Segundo Correia Guedes [45], a ventilação cruzada com vento de 2,7 m/s pode superar a ventilação por uma chaminé de 3 metros de altura e com 43°C no topo.

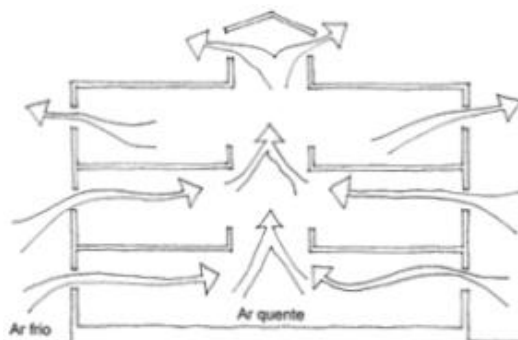


Figura 137 – Esquema de ventilação por “efeito chaminé” [45]

O “efeito chaminé” ocorre por uma variação de pressão vertical que depende da diferença de temperatura entre a coluna de ar e a temperatura externa. Também depende dos tamanhos e alturas das colunas de ar interior. O funcionamento desse sistema dá-se pela entrada de ar fresco a uma baixa altura, o qual aquece e sobe, formando assim uma corrente de ar. Este sistema é tanto mais eficaz quanto maior a diferença de temperatura entre o ar exterior mais frio e o ar interior mais quente [45].

As cidades de clima tropical são as melhores para aplicação da ventilação por efeito da pressão do vento, principalmente os climas tropicais húmidos. Entretanto, a ventilação por efeitos de gradientes térmicos é de eficácia bastante reduzida em climas tropicais, ou nula em cidades quentes e húmidas, como Singapura [4]. Em climas quentes, para obter um sistema de ventilação por “efeito chaminé” eficaz, é útil a construção de uma chaminé solar, a qual é utilizada para elevar a temperatura em áreas desocupadas, aumentando assim as diferenças de temperatura [3].

Os dois tipos de ventilação natural mencionados podem ser utilizados em conjunto para reforçar o desempenho do sistema de ventilação, especialmente em edifícios mais profundos onde é difícil conseguir uma ventilação cruzada eficaz [3].

Contudo, como foi referido, os benefícios da ventilação variam com o clima, logo as aberturas nas fachadas devem ser dimensionadas equacionando essa premissa. As janelas nas fachadas de edifícios em climas quentes e secos devem ser pequenas para que não entre calor e poeira. Além disso, o céu nessas regiões geralmente não apresenta muitas nuvens, o que leva a uma grande intensidade solar, portanto não são necessárias grandes aberturas nas paredes para iluminar o interior dos edifícios. Nessas construções, sempre que possível é aconselhável um pátio interno com maiores aberturas nas paredes e preferencialmente com árvores. O pátio interno permite a captação de ar exterior mais limpo e mais fresco, assim como a iluminação natural dos compartimentos interiores. As árvores e vegetações nos pátios internos contribuem para o arrefecimento do ar e para evitar o reflexo indesejável dos raios solares [34].

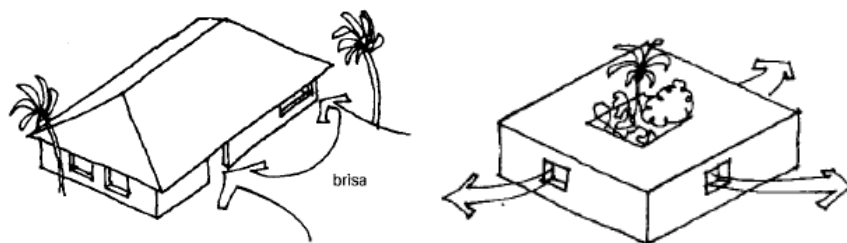
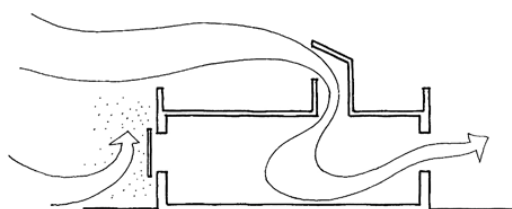


Figura 138 – A figura da esquerda apresenta ventilação adequada para clima tropical húmido, e a figura da direita é adequada para clima tropical seco [34]

A taxa de ventilação não deve ser constante. Quando o ar exterior é excessivamente quente, há que prevenir os ganhos de calor por ventilação, ou seja, nestas situações tem-se de minimizar a taxa de ventilação. Quando o ar exterior apresenta temperaturas inferiores ao ar interior, por exemplo durante a noite, deve-se aumentar a taxa de ventilação [3].

Em regiões muito quentes, a ventilação natural pode ser reforçada com meios mecânicos de refrigeração de baixo consumo energético, como ventoinhas. Em casos pontuais pode ser inevitável o uso pontual de ar condicionado, mas sempre combinado com a ventilação natural nos períodos em que seja possível [3].

Quanto maior a altura, mais fresco e limpo é o ar. Portanto outra boa prática do sistema de ventilação, principalmente aplicada a climas secos onde o ar apresenta bastante poeira, é a utilização de um captador de ar na cobertura. Assim o ar que entra na habitação a partir de uma abertura mais alta é mais fresco e limpo [3]. Em regiões com temperaturas noturnas mais amenas é conveniente o uso desse sistema com reguladores e deflectores de vento para evitar que entre demasiado ar frio para dentro do edifício [8].



**Figura 139 – Captador de ventilação na cobertura [3]
Se a direção da brisa for constante, esta solução é bastante eficaz**

Outra técnica, que tem bons resultados, é a ventilação pelo solo. Este sistema, que já se usava na antiguidade, tem vantagens: arrefece o ar exterior ao passar pelo subsolo com temperaturas mais amenas e evita a transmissão de poeiras do ar durante a ventilação. Consiste em passar o ar por debaixo do solo mais fresco, a uma profundidade de cerca de 2 metros, e saída do ar arrefecido no interior da habitação. A entrada do tubo deve ser protegida com rede de mosquiteiro para evitar entrada de insetos e deve ficar em locais onde o ar seja mais fresco [44].

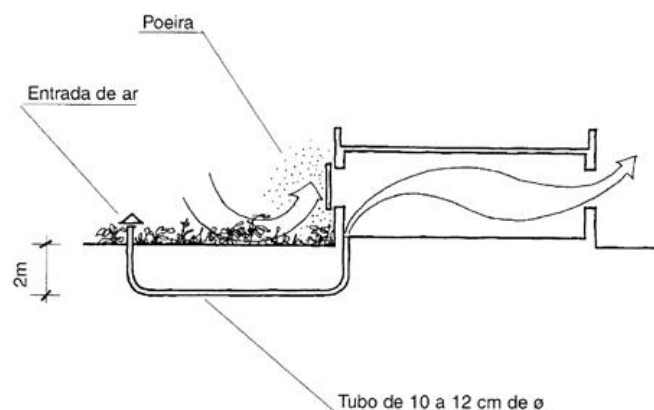


Figura 140 – Esquema de ventilação pelo solo [44]

A ventilação da cobertura também tem bons resultados, visto que a maior parte dos ganhos térmicos dá-se através da cobertura [44].

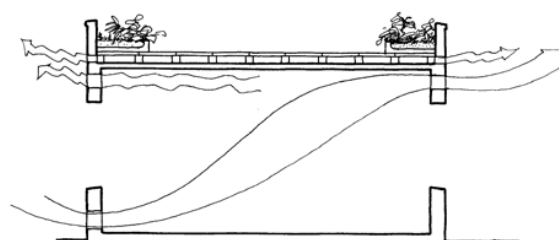


Figura 141 – Esquema de um edifício ventilado pela cobertura [44]

Em climas quentes é essencial promover uma adequada ventilação para melhoria do conforto na habitação, mas também, para uma arquitetura bioclimática é fundamental garantir a correta iluminação natural e, no caso de climas quentes, evitar os ganhos de calor. A integração entre esses fatores deve ser dimensionada para que o favorecimento de um deles não prejudique os demais.

A forma e posicionamento dos edifícios são fundamentais para proporcionar conforto aos ocupantes. Por exemplo, aos edifícios construídos no litoral, com fachadas voltadas para o mar, deve ser garantida proteção por alpendres para diminuir o impacto do reflexo do sol sobre a água do mar [3]. O reflexo dos raios solares sobre fachadas e telhados de edifícios também deve ser estudado para evitar que esse reflexo torne o interior das habitações vizinhas desconfortável. A radiação refletida é de maior preocupação nas regiões secas [22].

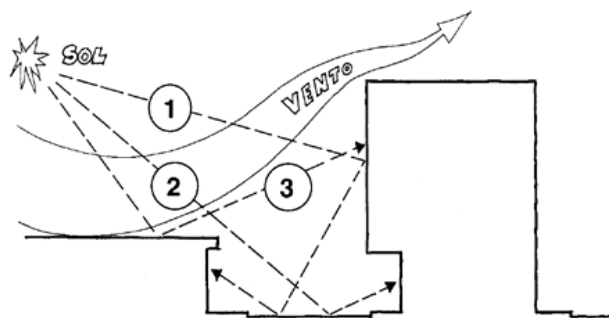


Figura 142 – Esquema de reflexão solar e ventilação inadequados [3]

O esquema acima favorece a passagem do vento por cima do edifício devido a falta de reentrâncias na fachada, o que pode tornar o ambiente entre esses edifícios excessivamente quente. Também é possível verificar 3 situações que devem ser analisadas [3]:

- 1- Incidência dos raios de sol primeiramente na fachada de um edifício, posteriormente no pavimento e por fim o reflexo é encaminhado para o interior da habitação vizinha.
- 2- Incidência dos raios de sol no pavimento e reflexão para a zona de circulação de pessoas.
- 3- Incidência dos raios de sol na cobertura de um edifício e reflexão para a fachada do edifício vizinho.

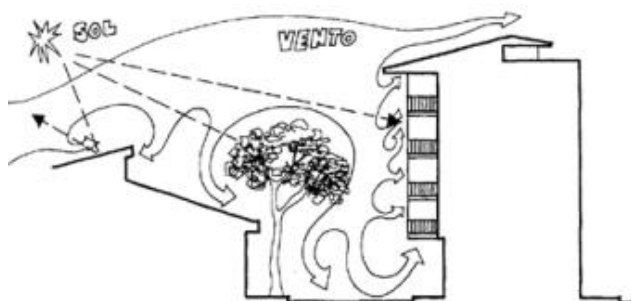


Figura 143 – Esquema de reflexão solar e ventilação adequados [3]

No esquema acima, a forma da fachada do edifício e da cobertura foram alterados face ao esquema anterior, de forma a otimizar a ventilação e minimizar os ganhos solares. A implantação da árvore contribuiu tanto para favorecer a circulação de ar, quanto para promover o sombreamento, amortecendo o efeito dos raios solares. A introdução de varandas no edifício alto contribuiu para o sombreamento da fachada e para a circulação de ar. Constata-se que pequenas alterações no projeto podem fazer toda a diferença [3].

A orientação correta da habitação e dos seus espaços internos, tendo em conta o percurso do sol e do vento, é o primeiro passo para o aproveitamento energético. Para países frios com necessidades de aquecimento, a orientação que otimiza os ganhos solares geralmente é a mais

vantajosa, porém essa orientação não é aconselhada para países tropicais onde a preocupação com o sobreaquecimento é prioritária.

A melhor orientação do edifício para reduzir os ganhos por radiação solar deve ser a que restringe a área de exposição das fachadas que recebem sol de ângulo baixo e que permite o sombreamento da fachada que mais recebe sol de ângulo alto. Como exemplificado na figura a seguir.

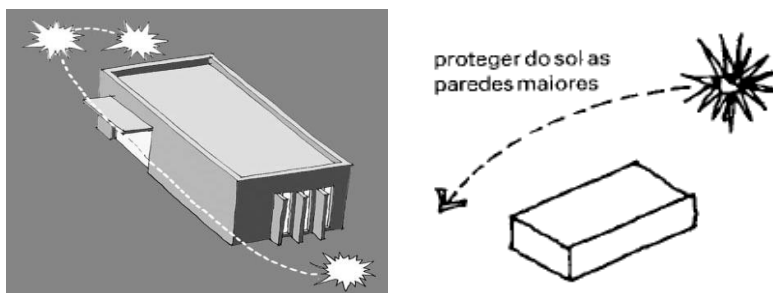


Figura 144 – Esquema adequado de posicionamento do edifício em relação a orientação solar [3],[34]

A organização interior das habitações deve ser de forma que a cozinha seja o compartimento mais fresco, uma vez que é um compartimento com grandes ganhos de calor interno. Os quartos de dormir devem captar menos calor durante a tarde para estarem com temperaturas confortáveis a noite. Os compartimentos com maior permanência de ocupação devem ficar localizados na fachada oposta a de maior recepção solar [44].

Uma orientação solar desfavorável pode ser compensada com o reforço do sombreamento ou o dimensionamento de janelas. “Em regiões quentes, um edifício bem sombreado pode ser entre 4°C a 12°C mais fresco do que um sem sombra” [44]. O sombreamento deve ser equilibrado com uma correta iluminação natural do interior dos edifícios. Cerca de 12% da energia gasta em edifícios provém das necessidades de iluminação artificial, valor que podem ser minimizadas com o adequado aproveitamento da iluminação natural [24].

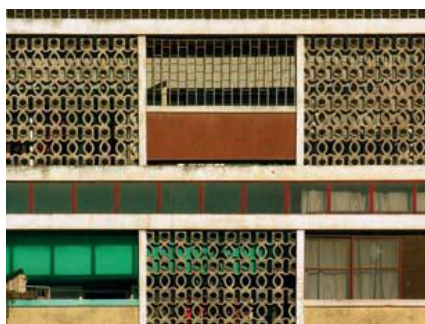


Figura 145 – Grelhas de fachada apresentam vantagens e proporcionam sombreamento, segurança e ventilação natural [3]

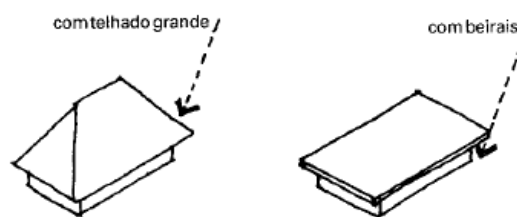


Figura 146 – Esquema de sombreamento introduzido pela cobertura [34]

As árvores são ótimos elementos de sombreamento. As árvores de folhas caducas, por exemplo, podem sombrear o edifício no verão, enquanto no inverno permitem maior passagem solar. Um local arborizado consegue interceptar entre 60 a 90% da radiação solar, pois a vegetação absorve parte da radiação para o seu metabolismo (fotossíntese), causando uma forte redução da temperatura. Além disso, o movimento de ar entre as folhas retira grande parte do calor absorvido do sol [24].

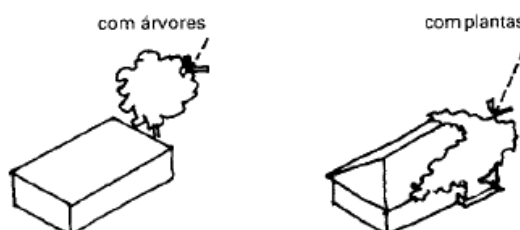


Figura 147 – Esquema de sombreamento introduzido pela vegetação [34]

Uma superfície com relva também tem vantagem de refletir menor radiação que uma superfície seca da mesma cor, isso acontece porque parte da radiação é absorvida para o seu metabolismo, o calor também é mais facilmente dissipado por convecção entre as folhas e a evapotranspiração da vegetação também contribui [24]. Por fim, uma superfície com relva contribui também para reduzir a poeira e o ruído ambiente [34].

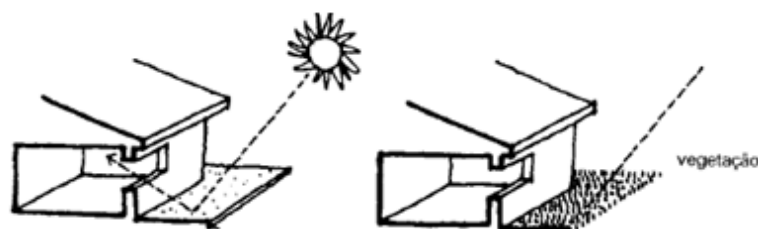


Figura 148 – Esquema de reflexão da radiação solar pelo pavimento [34]

A radiação que não é refletida é absorvida pelos materiais. As cores escuras são as que mais absorvem radiação, de tal forma, materiais como o gravilhão, a areia preta e o betão devem ser evitados para revestimento, pois terão uma temperatura superficial muito elevada. O calor do asfalto das ruas contribui para o aumento da temperatura nas cidades [44], [4].

Quadro 12 – Propriedades do alumínio com diferentes colorações. Adaptado de “Tropical Sustainable Architecture” [1].

Cor do painel de alumínio	Radiação solar refletida (%)
Branco	80.03
Verde-claro	65.17
Vermelho	47.76
Dourado	47.02
Cinza	28.59
Azul-escuro	27.06
Preto	4.36

Dois fatores são significantes na escolha do revestimento: o albedo e a emissividade. O albedo é o rácio entre a quantidade de luz refletida do material e o total de luz incidente sobre o material. A emissividade é o rácio entre a quantidade de radiação absorvida por um material e a quantidade de radiação absorvida por um corpo-negro à uma mesma temperatura. Material com alto albedo pode reduzir os ganhos solares durante o dia, a temperatura superficial desses materiais é baixa quando comparada com a de materiais com albedo elevado [4].

Revestimentos de cores claras são preferíveis para as construções em climas quentes. As cores claras de alguns materiais de revestimento refletem uma parcela considerável da radiação solar, contribuindo positivamente para o conforto interior dos edifícios. A pintura de cor clara é um meio económico e eficaz de reduzir a absorção de calor nas construções. Além disso pode contribuir para melhorar os níveis internos de iluminação natural, reduzindo assim a necessidade de iluminação artificial. A cor branca é a que mais reflete a radiação solar incidente [45].



Figura 149 – Edifício todo pintado de branco em Moçambique [3]

Outra técnica de arrefecimento passivo é a integração de vegetação e fontes de água no projeto, pois contribuem para o chamado arrefecimento evaporativo. Essa estratégia de arrefecimento tem considerável sucesso quando o teor de humidade relativa não ultrapassar os 60% [3].

É também importante haver integração da construção com o meio ambiente porque não é boa prática uma construção tornar-se excessivamente artificial para o local de implantação. Além disso priva-se dos benefícios que a integração com o meio natural pode promover e, pior ainda, corre o risco de alterar o ecossistema existente. Para o clima tropical húmido, por exemplo, a integração com o meio pode favorecer do microclima mais ameno provocado pela vegetação.

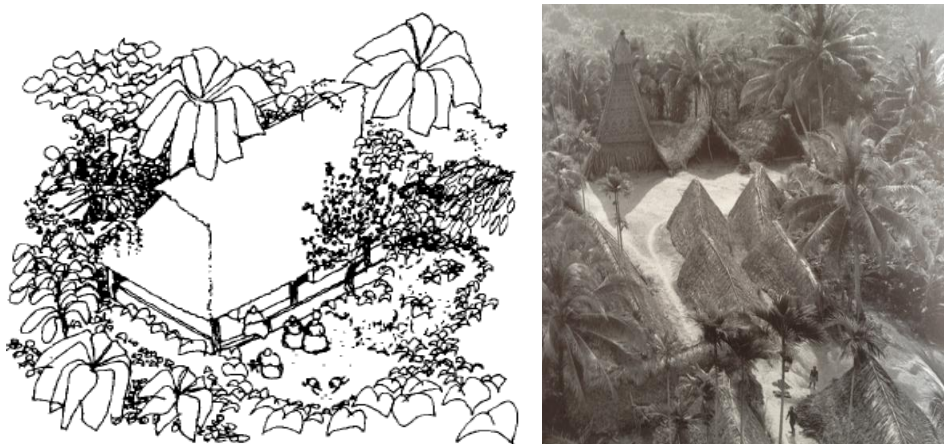


Figura 150 – Integração da construção com o meio ambiente envolvente. Aproveitamento do efeito benéfico de microclima proporcionado pela vegetação em clima tropical húmido. [34],[72]

Além da integração com o meio ambiente, é preciso compreender a integração dos ocupantes com o edifício. Para alguns arquitetos a função é consequência da forma, para outros a forma é que segue a função [24]. A verdade é que ambas as afirmativas podem estar corretas e funcionar em simultâneo. Segundo Lamberts, *et al.* [24], uma arquitetura funcional pode torna-se desconfortável e ineficiente durante o desempenho de tarefas no seu interior e sofrer modificações após a sua ocupação. Para um projeto ser eficaz é preciso perceber as necessidades e relações dos ocupantes no espaço.

Conhecer o estilo de vida e hábitos dos ocupantes é fundamental para o planeamento de boas práticas sustentáveis. Esse conhecimento é de difícil compreensão, uma vez que o comportamento humano é imprevisível, mas de fato permitiria adotar medidas mais eficazes do que apenas aplicar métodos de poupança energética no design do edifício. Um projeto não pode ser sustentável se não considerar a influência dos ocupantes e sensibilizar os mesmos para medidas de poupança energéticas. O edifício tem que se adaptar ao estilo de vida dos ocupantes, fornecendo o conforto desejado por eles, caso contrário, pouco servirá o investimento em técnicas sustentáveis [4].

A aplicação de estratégias de poupança energética pode não ser útil se não for levado em conta alguns detalhes. Por exemplo, em Singapura durante 1970 foram construídos blocos de edifícios estrategicamente paralelos uns aos outros, com design que seria ideal para uma boa performance térmica e para o aproveitamento de ventilação natural. Contudo durante a utilização dos edifícios o mesmo não se verificou, pelo simples fato dos habitantes do edifício fecharem as janelas para ter privacidade em relação aos vizinhos dos edifícios localizados em frente [4]. Tal exemplo verifica o pressuposto de que a influência dos ocupantes é tão importante quanto a influência climática, devendo ser considerado o grau de controlo do ambiente interno por parte dos usuários.



Figura 151 – Edifício em Singapura construído em 1970 [4]

Nas arquiteturas vernaculares não havia os materiais que existem nas construções atuais, por exemplo o vidro. Mas como hoje em dia quase nenhum edifício é feito sem haver vidros nas janelas, convém fazer aqui uma pequena referência a este material.

Os vidros têm geralmente alto *coeficiente de transmissão térmica* (U), ou seja, são bons condutores de calor. Porém são bons materiais para o controle da iluminação e ventilação de forma racional [24].



Figura 152 – Edifícios com fachadas de vidro em Luxemburgo. Adequados a climas frios, inadequados a climas quentes.

As áreas de envidraçado das fachadas oferecem muito pouca resistência à transferência de calor radiante, dessa forma são elas umas das principais responsáveis pelos ganhos de calor de um edifício. O uso excessivo e sem sombreamento de áreas de envidraçados nos climas tropicais podem levar ao sobreaquecimento do edifício e a necessidade de uso de aparelhos de ar condicionado.

Os vãos envidraçados devem ser dimensionados conforme a orientação da fachada, buscando um equilíbrio entre a iluminação e ventilação natural, recebendo o mínimo possível de radiação solar direta. Segundo Correia Guedes [3], a área de envidraçados não deve ultrapassar 40% da área das fachadas a Norte e a Sul, considerando um correto sombreamento, e nas fachadas

nascente não devem ultrapassar os 20%. A poente a utilização de envidraçados deve ser evitada sempre que possível.

É preciso ter em atenção que as aberturas nas fachadas também influenciam outros fatores. Portanto é preciso obter um equilíbrio entre iluminação natural, ventilação natural, ganhos solares, proteção contra mosquitos, impermeabilização, arquitetura funcional, ruído, poluição e segurança. Estes problemas mencionados podem ser minimizados, por exemplo, para o problema de ruído, pela introdução de prateleiras acústicas no exterior das janelas ou painéis acústicos absorventes sobre as superfícies internas. A introdução de portadas exteriores permite ainda minimizar o problema de segurança [3].



Figura 153 – Janela eficiente para sombreamento, ventilação, proteção à chuva e segurança [45]

O sombreamento é eficiente para reduzir a penetração de radiação solar nas áreas opacas e principalmente nas áreas envidraçadas do edifício. Os ganhos de calor por radiação através dos envidraçados são muito significativos, visto que têm pouca resistência à transferência de calor radiante e promovem o efeito estufa. As áreas de envidraçado devem especialmente ser protegidas dos ganhos solares quando o sol apresenta um ângulo baixo, ou seja, no início da manhã e no final da tarde [24].

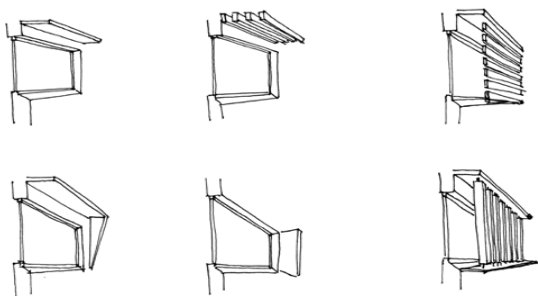


Figura 154 – Exemplos típicos de sombreamento externo para janelas [44]



Figura 155 – Proteções solares externas móveis [44]

As proteções solares internas são basicamente as cortinas e persianas, as quais são facilmente abertas ou fechadas conforme a necessidade de utilização. Porém as proteções internas não evitam o efeito estufa, pois não impede que a radiação solar atravesse o envidraçado e

transforme-se em radiação de onda longa, permanecendo na sua maior parte no ambiente interior. A opção por proteções solares externas pode ser mais eficiente, pois bloqueia os raios solares antes destes penetrarem pelo envidraçado. A vegetação e árvores também podem ter grande contributo para o sombreamento, assim como a conceção estratégica de varandas e alpendres. [44]

Há também diversos tipos de vidros, e a escolha correta do tipo de vidro contribui para diminuir a penetração da radiação solar na habitação. A utilização de vidros duplos pode reduzir ganhos e perdas de calor. Os vidros de baixa emissividade também são uma boa escolha, pois estes transmitem apenas as partes do espectro solar visível necessário para iluminação natural e reflete o indesejável.

Há diversos softwares de simulação que ajudam a dimensionar adequadamente as aberturas nas fachadas, como por exemplo o EnergyPlus, o DOE, ou o Ecotect. O correto dimensionamento de vãos também previne ganhos de calor por condução, causados por diferenças de temperatura entre o ar interior e o ar exterior. Contudo os ganhos por condução são poucos significativos quando comparados com os ganhos solares [45].

Todas essas técnicas passivas aqui citadas foram usadas durante séculos com bons resultados, com objetivo de evitar a acumulação de ganhos de calor e fornecer refrigeração natural para dissipar o calor acumulado na habitação. Estas estratégias permitem proporcionar ambientes interiores confortáveis e simultaneamente reduzir o consumo energético, mas desde o aparecimento do ar condicionado que passaram a ter menos importância. Hoje em dia com a preocupação ambiental essas técnicas têm sido retomadas e reforçadas com conhecimentos tecnológicos atuais para que possam ser incorporadas com sucesso na conceção e operação dos edifícios [45].

Por fim é feita uma análise adaptada do quadro do livro “Manual do arquiteto descalço”, contendo o efeito de algumas estratégias bioclimáticas para a construção.

Quadro 13 – Estratégias bioclimáticas mais eficientes. Adaptado de “Manual do arquiteto descalço” [34].

Estratégias bioclimáticas	Clima tropical Seco	Clima tropical Húmido
Ventilação cruzada	Eficiente	Muito eficiente
Aberturas de evacuação de ar na cobertura	Eficiente	Muito eficiente
Captação de ar exterior na cobertura	Muito eficiente	Indiferente
Sombreamento	Muito eficiente	Muito eficiente
Pátio interior	Muito eficiente	Indiferente
Cobertura inclinada	Menos eficiente	Mais eficiente
Cobertura plana	Mais eficiente	Menos eficiente
Arrefecimento por evaporação	Muito eficiente	Eficiente
Inércia térmica forte	Muito eficiente	Pouco eficiente
Sobrelevação da construção	Ineficiente	Eficiente
Revestimento de cores claras	Muito eficiente	Muito eficiente

3.3. Síntese das vantagens e desvantagens das construções tradicionais em climas tropicais

Como muitos autores referem, a construção tradicional e a arquitetura vernacular permitiam criar construções eficientes para cada tipo de clima [91]. Mas será que para uma construção feita hoje, seguindo modelos tradicionais, esta premissa é válida?

A principal função dos edifícios é promover abrigo contra condições adversas, sendo por isso importante conhecer a região, o clima e o contexto social em que se inserem. Infelizmente muitas das construções realizadas nos trópicos hoje em dia são “cópias” de países com climas distintos, particularmente os Estados Unidos, justificadas como “o estilo internacional”.

Enquanto a radiação solar é bem-vinda em climas temperados e os edifícios são preparados para receber os ganhos solares, o mesmo não deveria acontecer em climas tropicais, sendo favorável o sombreamento nessas regiões. O conceito europeu de praças sem sombreamento é inadequado para os climas tropicais, as pessoas tendem a procurar locais sombreados onde o ar é mais fresco [71]. Assim como um elevado caudal de ventilação em climas tropicais é normalmente mais favorável do que em climas temperados [4].

Essa internacionalização da construção levou ao uso indiscriminado e insustentável dos aparelhos de climatização artificial para resolver problemas de conforto climático no interior dos edifícios. O uso do ar condicionado como instrumento principal para solucionar problemas de térmica é uma solução antieconómica, insustentável a nível ambiental e precária para a saúde do próprio utilizador. O uso excessivo de ar condicionado pode ter sérios impactos negativos nos centros urbanos, produzindo um aumento de temperatura e de poluição no ar exterior, contribuindo para tornar desconfortável a realização de atividades ao ar livre.

Segundo Kenneth Frampton (1983), o ar condicionado é um símbolo de mudança, na qual a integração da arquitetura com o meio-ambiente vem se transformando desde as últimas décadas. O ingresso dos processos de climatização mecânicos permite a operação dos edifícios sem interação com o seu exterior [4]. Em contra partida, o uso compulsivo de ar condicionado proporciona um aumento do consumo energético, gerando expectativas insustentáveis.

Passar a vida em ambientes fechados climatizados por ar-condicionado pode também levar ao isolamento social, a medida em que as pessoas passam a viver sempre em compartimentos isolados do exterior, mantendo portas e janelas fechadas. Além disso, o uso de ar condicionado pode tornar-se um vício, em que as pessoas passam a necessitar constantemente dessa condição de conforto artificial [4].

Outra questão, do mundo em que se vive hoje, é a densidade populacional e o crescimento vertical das cidades. A construção atual em altura é um desafio para o uso de materiais naturais, mas serão os edifícios altos respostas para os problemas urbanos? É possível obter densidades habitacionais elevadas mesmo com estruturas de baixa altura e ainda com melhor rentabilidade e qualidade de vida [82].

Ter uma elevada densidade urbana, ou seja, edifícios com muitos habitantes, é por vezes preferível. Desta forma é possível ter menor ocupação do solo, menor destruição da natureza circundante, menor tempo gasto em deslocações, menores necessidades de construir estradas e

infraestruturas, entre outras vantagens. Por outro lado há um conflito entre o aproveitamento da luz natural, a ventilação natural e a privacidade dos habitantes, e pode conduzir ao sobreaquecimento. Portanto um aumento da densidade urbana resolve alguns problemas, mas por consequência traz outros [4].

Quanto mais compacta a cidade, maior a redução de radiação solar direta, devido ao sombreamento causado pelas construções, mas maior é o aumento da radiação difusa devido às reflexões de radiação entre edifícios. Maior também é a retenção de radiação de onda longa no espaço público. Além disso, nas cidades mais compactas, mais difícil é ter uma taxa de ventilação adequada, o que pode ser maléfico para promover a renovação do ar e para possibilitar a ventilação cruzada.

No contexto da construção em regiões tropicais é preciso ter em atenção que muitas cidades são pobres, mal organizadas e com elevada densidade populacional. O crescimento urbano de muitas dessas cidades apresenta-se ainda de forma rápida e desordenada, enquanto as mesmas têm sofrido conflitos entre a tradição e a modernidade [4].



Figura 156 – Pressão urbana, elevada densidade populacional [4]

Para uma análise mais concisa da sustentabilidade nas construções em climas tropicais, será abordado aqui uma análise mais voltada para a edificação como caso isolado. A vantagem de considerar a edificação de forma isolada é a sua simplicidade. As características do desempenho de um edifício são mais previsíveis e mais fáceis de controlar do que as características de uma grande e complexa área urbana. Portanto o desenvolvimento de uma cidade sustentável passa pela elaboração de edifícios sustentáveis [8].

Segundo Mateus e Bragança (2006), a construção sustentável deve ser caracterizada por uma lista de princípios e prioridades [9],[92]:

- ➔ Economia de água, energia e recursos
- ➔ Salubridade dos edifícios
- ➔ Durabilidade das construções
- ➔ Plano de manutenção dos edifícios
- ➔ Utilização de materiais eco-eficientes

Pode-se ainda acrescentar à lista a necessidade de preocupação com a influência e costumes dos ocupantes sobre o edifício e a conscientização destes para hábitos mais sustentáveis.

A integração bioclimática em conjunto com uso de energia renovável e sistemas de aproveitamento de águas das chuvas são medidas que permitem a economia de energia e de água nos edifícios. Para aproveitamento da água pode ser conveniente a instalação de sistemas de recolha de águas pluviais. Também adoção de sistemas de reutilização de águas cinzentas, provenientes de lavagens, autoclismos e águas de rega, podem ser interessantes [16].

Portanto, para se poder dizer que uma construção está mais perto das premissas da sustentabilidade é preciso fazer uma análise do somatório das soluções em termos de conforto, economia e melhoria de qualidade de vida das populações.

Soluções construtivas tradicionais foram suportadas em uso de materiais naturais e locais. O uso destes materiais permite preservar e promover o desenvolvimento das culturas e tradições locais e, permite também, melhorar condições de vida das populações. O aproveitamento de recursos locais e que se adaptam ao clima permite diminuir custos económicos e ambientais, além de ser capaz de por si só promover níveis de conforto adequados. A contribuição para a poupança energética e a sustentabilidade das intervenções são fatores que estes materiais podem promover.

Os requisitos de manutenção dos sistemas construtivos podem também ser menores, nas situações estudadas. E, quando necessário ser substituídas, permite que tal se processe com um custo reduzido e que o material dispensado possa ser reutilizado ou reciclado, uma vez que é um material natural, não gerando resíduos.

Estas construções foram aprimoradas durante centenas de anos, sobrevivendo até a descoberta de novos materiais de construção. Ainda hoje existem pessoas habitando o mesmo tipo de construção que seus mais antigos ancestrais habitavam. Por exemplo, em Cabo Verde na ilha de Santiago, a comunidade de Rebelados ainda vive em completa integração com a natureza, as suas casas são feitas exclusivamente com recurso a palha e caniço [44]. Portanto, na busca de respostas para os problemas da construção atual, estas devem ser levadas em conta.

As formas e modelos da arquitetura das regiões tropicais são, conforme visto anteriormente, diversas. Neste contexto pretende-se analisar as construções mais características de cada região, conforme apresentadas anteriormente. Para análise das suas vantagens e desvantagens será levado em conta o material utilizado, englobando requisitos ambientais, económicos e sociais, além da durabilidade das construções e suas necessidades de manutenção.

A durabilidade dos materiais de construção é de extrema importância para uma construção sustentável. Materiais com baixa durabilidade implicam frequentes operações de conservação e reabilitação, o que envolve consumo de recursos energéticos e materiais. Assim, com um estudo do ciclo de vida, pode-se chegar a conclusão que um material com elevada energia incorporada mas com uma elevada durabilidade seja preferível face a um material com menor energia incorporada mas com durabilidade também menor [6].

Os edifícios tradicionais nem sempre são os mais adequados, uma vez que a sua durabilidade e requisitos de manutenção podem por em causa as suas vantagens ambientais. Em geral, as construções tradicionais requerem mais manutenção do que as construções modernas. Por

exemplo, em áreas com elevada precipitação a construção com recurso a solo argiloso deve ser revestida quase todos os anos com uma fina camada de reboco de argila para preservar a camada interior [53]. Enquanto a madeira pode sofrer rápida degradação pelo clima e por ataque de insetos quando aplicada sem tratamento ou inadequadamente.

Ainda em relação a madeira, a sua sustentabilidade como material natural e renovável pode ser posta em causa se sua extração não for feita de forma controlada. A destruição de florestas tropicas dá-se quase sempre para abastecer a indústria da construção civil mundial, e contribui de forma significativa para o aumento da temperatura global [8]. Assim como a exploração inadequada de pedreiras, que pode causar danos irreversíveis ao meio ambiente envolvente.

As construções vernaculares utilizavam materiais existentes no local, com respeito ao meio ambiente, utilizando apenas o necessário para satisfazer as suas necessidades. Porém hoje em dia as necessidades humanas são muito mais exigente, a população é muito maior e com estilos de vida diferentes de tempos passados. O que poderia ser sustentável ou adequado para os nossos ancestrais pode não ser para nós.

Em relação aos materiais de construção utilizados, as suas escolhas em cada região foram tidas com base na disponibilidade da matéria-prima, em costumes e em níveis de conhecimento técnico que permitissem a sua utilização na construção, mas há outros fatores que permitiram a sua utilização durante muitos e muitos anos, como por exemplo as suas propriedades térmicas. Enquanto nos climas húmidos foi visto que construções de baixa inércia térmica eram mais favoráveis, nos climas secos foi visto o contrário. Por esses motivos em regiões secas há predomínio de construções em pedra e terra e, em regiões húmidas, de madeira e bambu.

A terra apresenta excelente resistência ao fogo e bom isolamento acústico e térmico, mas é vulnerável a impactos mecânicos, um sismo pode ser fatal a construções deste material. O efeito da humidade no material também apresenta sérios riscos para a sua resistência e durabilidade, por isso várias medidas preventivas foram elaboradas, principalmente em climas húmidos. Por exemplo, materiais impermeáveis a água, como a pedra, foram utilizados para fundações de paredes em terra. Varandas e coberturas extensas também podem ser bastante úteis para proteção de paredes em terra contra o impacto das águas das chuvas [21].

Em relação a adaptação climática das construções vernaculares nos trópicos, é possível verificar que estas apresentavam condições de conforto por vezes superior às construídas atualmente. Durante anos de tentativas e erro, os povos ancestrais aprenderam que, de um modo geral, em climas quentes e húmidos, a ventilação cruzada diurna é a mais adequada para proporcionar temperaturas de conforto e permite minimizar os efeitos da humidade. Em regiões de clima quente e seco, onde a temperatura diurna é bastante maior que a noturna, a ventilação noturna tem grande eficiência. Enquanto a ventilação diurna nessas regiões deve ser controlada de forma que evite a entrada de ar quente para o interior das habitações [24].

A ventilação em climas húmidos favorece a evaporação do suor, o que faz as pessoas se sentirem mais confortáveis [84]. Mesmo que involuntariamente, as construções estudadas nestes climas tiveram em consideração este fato ao terem soluções construtivas permeáveis ao ar e com amplas aberturas para a ventilação, como é o caso das construções tradicionais na América do Sul,

Caribe, sudeste Asiático e algumas regiões Africanas. Grandes aberturas nas fachadas e vãos entre os elementos construtivos são estratégias que respondem as necessidades de ventilação para controlar a temperatura e reduzir os efeitos da humidade [21].

O clima húmido também encoraja a sobrelevação da construção ou a construção sobre plataformas. Como visto nas construções do sudeste Asiático, a sobrelevação é uma estratégia que favorece a ventilação, além de prevenir problemas com insetos e águas superficiais que podem ser prejudiciais tanto à construção quanto aos seus ocupantes [21].

Os diferentes tipos de coberturas verificados nas diferentes regiões também são propositais. Dollfus (1954) correlacionou os tipos de edifícios nos diferentes climas analisando as suas coberturas. Verificou que coberturas altas e inclinadas são típicas de climas húmidos, frios ou temperados, enquanto coberturas planas ocorrem em zonas quentes e secas. Há zonas onde a proteção da cobertura é mais importante do que das paredes, as quais são por vezes inexistentes, estas incluem as chuvosas florestas Equatoriais e as savanas da África [21].

Em climas quentes e húmidos, onde a movimentação do ar é fundamental para a manutenção do conforto, a cobertura adequada pode proporcionar o arrefecimento desejável. Coberturas volumosas e em formas cónicas ou piramidais permitem a melhor estratificação do ar em camadas, permanecendo o ar mais fresco próximo do solo e o ar quente nas cotas mais elevadas da cobertura, devido a diferença de densidade entre o ar quente e o ar frio [41].

A intensa precipitação das regiões húmidas também reflete nas formas das coberturas. Regiões húmidas apresentam coberturas bastante inclinadas para facilitar o escoamento das águas das chuvas, enquanto regiões secas não têm tanto essa preocupação. Pelo contrário, regiões secas tendem a ter coberturas mais planas de forma a diminuir a área de construção exposta a radiação solar. A opção por dar formas circulares aos edifícios, também pode ter sido uma adaptação climática de algumas tribos para evitar ganhos solares, uma vez que formas retangular, segundo certas orientações solares, podem obter mais ganhos indesejáveis a climas tropicais [41].

Aprenderam também, que fachadas de cores claras absorvem menos radiação solar, portanto a caiação das fachadas foi uma estratégia por vezes utilizada. Também observaram que o sombreamento é essencial em cidades com temperaturas mais elevadas e, que o plantio de árvores junto às edificações proporciona zonas de sombreamento e além disso permite direcionar as correntes naturais de ar [8]. Em épocas quentes e secas, a vegetação também tem grande contributo para criar condições de conforto por arrefecimento evaporativo, mas é preciso ter em conta que essa estratégia de arrefecimento requer boa taxa de ventilação para evitar o acúmulo de humidade no interior dos edifícios [24]. Assim procuraram a integração das habitações com o meio natural arborizado, recebendo vantagem da proteção contra águas das chuvas e sombreamento que essas árvores podem proporcionar, e ao mesmo tempo conseguindo ter uma boa ventilação.

O prolongamento de beirais e coberturas também são uma resposta para evitar a absorção de radiação solar nas fachadas. O uso de varandas, típico de climas tropicais húmidos, é também uma estratégia interessante. Segundo Helena Brandão [93], a varanda está relacionada com a sustentabilidade do ambiente construído, uma vez que atua como fator de sombra e como um grande

beiral, sendo um recurso da própria forma arquitetônica para contribuir para o conforto ambiental, nas questões de conforto térmico, iluminação e até mesmo acústica.

A varanda permite a abertura de vãos laterais de ventilação mesmo em dias de chuva e diminui a humidade por condensação, além de amenizar o calor através do sombreamento que impede a incidência de radiação solar direta, o que não significa necessariamente uma diminuição da taxa de iluminação natural. A varanda bem dimensionada é capaz de bloquear a incidência de luz solar direta, minimizando a propagação do seu calor, mas é capaz de permitir a entrada de luz refletida e difusa a bons níveis de iluminação [93].

Em termos acústicos, a utilização de espaços vazados aumenta a espessura da fachada e pode ser uma boa estratégia para gerir a propagação do som, sem impedir a penetração do vento. Outro contributo das varandas é formar uma “barreira protetora” às fachadas dos edifícios, ajudando a proteger a fachada dos edifícios, possibilitando melhor conservação da construção e aumentando sua vida útil [93].

Portanto verifica-se a funcionalidade das varandas em promover sombreamento, além de possibilitar melhor ventilação, acústica dos espaços e proteção das fachadas. Algumas varandas também contribuem para a integração social entre vizinhos e permitem a colocação de pequenos canteiros, área verde [4].

Nem todas as varandas oferecem esses benefícios citados, em virtude de suas dimensões e materiais construtivos, mas há muitos anos que têm sido utilizadas com essas funções. A varanda é ainda um elemento tradicional da construção em algumas regiões tropicais húmidas, desta forma a introdução de varandas em novos projetos arquitetônicos contribui para a preservação da cultura local, estando também associada a sustentabilidade cultural [93].



Figura 157 – Edifício com varanda no Rio de Janeiro (clima tropical húmido)

É importante notar que as habitações hoje em dia têm funções e requisitos muito distintos das construções vernaculares. Para além de temperatura e humidade é preciso contar com quantidade de luz, hábitos de ocupação, as influências regionais e as tradições [61].

A generalidade das construções vernaculares tropicais era utilizada apenas como abrigo contra condições adversas e principalmente durante a noite, sendo a maioria das atividades executadas no seu exterior. Assim sendo, não tinham tanta necessidade de possuírem boa iluminação. Grandes áreas de janelas são incomuns à arquiteturas vernaculares, além de não serem muito necessárias, eram por vezes impossíveis de construir com os materiais e técnicas existentes na

época e, também, não havia disponibilidade de vidro nas construções até o século XIX. A maioria dessas habitações, principalmente em climas quentes e secos, nem sequer tem janelas, mas apenas portas ou pequenas aberturas que proporcionam a iluminação e a ventilação necessária [41].

De fato, o que procura-se com esta dissertação não é que as pessoas voltem a habitar casas de terra, pedra ou madeira sem janelas, mas sim a possibilidade de incorporação de boas técnicas tradicionais e materiais de construção mais sustentáveis nas construções atuais. Isso tudo associado com a adoção de novas tecnologias e novos materiais de construção que possam permitir a eficiência e o conforto desejado sem causar grandes danos ao meio ambiente. Ou seja, pretende-se procurar as respostas para um modelo de construção para o mundo atual mais consciente com as questões ambientais através da análise das vantagens dos modelos de construções tradicionais.

Adaptando as construções vernaculares ao mundo atual, é ainda possível a integração de novas tecnologias sustentáveis, como:

- Sistemas de geração de energia (mini eólicas e painéis solares)
- Sistemas de aquecimento de águas quentes sanitárias (coletores solares)
- Sistemas de captação e reaproveitamento de águas pluviais
- Sistemas de reaproveitamento de águas cinzentas (água de rega, lavagens e autoclismos)
- Sistemas de eficiência energética (sensores de presença, lâmpadas de baixo consumo, etc.)

É verdade que, conforme referido anteriormente, edifícios com consciência ambiental estão muitos mais expostos a fatores naturais, como variação da temperatura e da humidade relativa, do que edifícios climatizados artificialmente [4]. Portanto os projetistas desses edifícios têm de ter alguns cuidados especiais e os ocupantes desses espaços têm de ter consciência desse fato. Por vezes é adequado a utilização de aparelhos de climatização em dias muito quentes, mas esta é uma situação que pode e deve ser minimizada.

É de notar também que nem sempre o uso misto do ar condicionado com a climatização natural é eficiente. Um exemplo disso é o estudo feito por Corbella, em “Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos”, onde compara dois edifícios comerciais no Rio de Janeiro. Um edifício é totalmente dependente de climatização artificial, enquanto o outro apresenta climatização natural nos corredores e apenas recurso a ar condicionado nas lojas. O estudo verificou que o edifício que tinha uso misto da climatização natural e da artificial apresentava maiores consumos energéticos por metro quadrado do que o edifício que necessitava permanente uso de ar condicionado. Apesar de parecer estranho, esse fato é explicado pelo aumento de trocas térmicas entre as lojas, nas quais o ar condicionado proporciona temperaturas mais baixas, e os corredores que apresentam temperaturas mais elevadas e possuem ampla abertura para o exterior. Desta forma, a climatização é condicionada pelas fortes trocas térmicas com o ar exterior, e assim o ar condicionado consome mais energia para garantir a temperatura constante nas lojas [25].

Por fim, falta referir que o preconceito atual é uma barreira a ser ultrapassada. Os materiais tradicionais são vistos como materiais pobres e fracos. Por exemplo, materiais tradicionalmente utilizados em coberturas de edifícios recebem o preconceito devido ao maior risco de incêndio, menor impermeabilização da cobertura às chuvas e maior manutenção requerida. Sendo atualmente vistos

como uma solução do passado e como sinónimo de pobreza e desprezo. Por esses motivos os moradores preferem a utilização de telhas [61].

Outra barreira é referente a pouca mão-de-obra com conhecimento para fazer construções com esses materiais. É preciso uma maior conscientização da população para as vantagens dos materiais tradicionais, revertendo esse preconceito, e uma maior e melhor formação dos profissionais de construção civil. Como nessas regiões é bastante comum a autoconstrução pelos próprios moradores, ações de formação prática à população comum pode também promover de forma significativa esse tipo de construção.

Hoje em dia muitos empreendimentos turísticos têm construído suas instalações seguindo a arquitetura e materiais tradicionais, procurando uma integração cultural do turista na tradição local e a sustentabilidade do empreendimento. As presentes e crescentes preocupações ambientais têm levado a criação não só desses empreendimentos, mas também, mesmo que ainda de forma tímida, a adoção desses métodos em moradias, principalmente fora das cidades.

De um modo geral, as construções vernaculares adaptam-se muito melhor às zonas rurais do que as cidades. Em centros urbanos as necessidades e preocupações a ter são muito maiores, inclusive em termos de segurança e durabilidade da construção. Aspectos legislativos também podem por em causa a preservação de técnicas tradicionais.

O quadro elaborado nas páginas a seguir sintetiza a análise das construções tradicionais nas diversas regiões tropicais aqui abordadas, em relação aos tipos de construções encontradas, os materiais e sistemas construtivos existentes, e a suas respectivas durabilidades e necessidades de manutenção.

Quadro 14 – Síntese das características das construções tradicionais

Região do Globo	Tipo de Construção	Material de Construção	Sistema Construtivo	Durabilidade	Requisitos de Manutenção
Norte da África	Edificações compactas, próximas umas das outras. Janelas pequenas localizadas a elevada altura. Por vezes com chaminés para ventilação. Materiais pesados, com forte inércia térmica. Predomínio de cores claras nas fachadas.	Terra nas paredes e cobertura. Por vezes colmo na cobertura	Paredes de elevada espessura em adobe ou taipa. Cobertura também em terra, ou menos usual, em colmo.	Quando construídos de forma adequada e com terra com percentagens de argila e areia adequadas, podem durar dezenas e até centenas de anos com manutenções periódicas.	Deve-se garantir a proteção das paredes às águas das chuvas e ao vento, portanto anualmente é recomendada a manutenção do reboco das paredes e aplicação de uma camada de cal. Também pode ser necessário a verificação periódica da estanquidade da base das paredes. Se a cobertura for de colmo é necessário a sua manutenção periódica e substituição após o seu tempo de vida útil.
África Ocidental (Exemplo Cabo Verde)	Predomínio de formas retangulares de pequenas dimensões, por vezes sem janelas ou com apenas algumas aberturas na parede para ventilação. Uso de materiais pesados. Preocupação com o sombreamento e o acúmulo de calor nas fachadas. Por vezes as fachadas são caiadas a branco. Cobertura quase sempre inclinada de duas águas.	Pedra nas paredes (em Cabo Verde uso da pedra basáltica). Colmo na cobertura (por vezes folha de bananeira ou palmeira).	Paredes em pedra de junta seca, com cerca de 40 centímetros de espessura, geralmente rebocadas e caiadas na fachada interior e caiadas diretamente sobre as pedras no exterior. Cobertura revestida por colmo.	As paredes podem durar dezenas e até centenas de anos se forem construídas adequadamente, sem necessidade de grandes manutenções. A cobertura em colmo tem durabilidade variável.	Nas paredes é aconselhável manutenção periódica do eventual reboco e caiação das fachadas exteriores, como forma de proteção das pedras aos agentes erosivos. Nas coberturas é necessário manutenção periódica do colmo e substituição após o seu tempo de vida útil.

Região do Globo	Tipo de Construção	Material de Construção	Sistema Construtivo	Durabilidade	Requisitos de Manutenção
África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)	Edificações de variáveis dimensões e formas retangulares ou circulares. Por vezes sem janelas ou com apenas algumas aberturas na parede para ventilação. Preocupação com o sombreamento e o acúmulo de calor nas fachadas. Por vezes as fachadas são caiadas a branco.	Uso de diversos materiais, principalmente a terra, o bambu e a madeira. Mas predomínio do uso da terra nas paredes. Colmo na cobertura (por vezes folha de bananeira ou palmeira)	Paredes em adobe ou taipa. Ou paredes em bambu revestido com lama. Coberturas revestidas por colmo com estrutura em bambu, madeira ou outros tipos de plantas.	Variável conforme o tipo de construção e os materiais utilizados. Com utilização adequada e periódica manutenção é possível garantir boa durabilidade.	Deve-se garantir a proteção das paredes às águas das chuvas, portanto anualmente é recomendada a manutenção do reboco das paredes e aplicação de uma camada de cal. Também pode ser necessário a verificação periódica da estanquidade da base das paredes e substituição de elementos de bambu ou madeira que se encontrem degradados. Nas coberturas é necessário manutenção periódica do colmo e substituição após o seu tempo de vida útil.
África Centro-Sul	Edificações de variáveis dimensões, mas pequenas, e formas retangulares ou circulares. Geralmente sem janelas, a ventilação é feita principalmente pelo espaço entre as paredes e a cobertura. Uso de materiais pesados, principalmente nas regiões de clima seco. É comum o prolongamento da cobertura devido a grande preocupação com o sombreamento.	Terra ou madeira nas paredes, por vezes uso da pedra. Colmo na cobertura.	É comum paredes de taipa ou adobe. Em regiões mais húmidas há construções com paredes em madeira. A cobertura é revestida por colmo.	Variável conforme o tipo de construção, os materiais utilizados e os cuidados a ter na construção e na utilização.	Deve-se garantir a proteção das paredes às águas das chuvas, portanto anualmente é recomendada a manutenção do reboco das paredes de terra. Nas paredes de madeira é recomendável aplicação de produtos preservativos que conferem maior resistência contra os agentes de deterioração. Também pode ser necessário a verificação periódica da estanquidade da base das paredes e substituição de elementos de madeira que se encontrem degradados. Nas coberturas é necessário manutenção periódica do colmo e substituição após o seu tempo de vida útil

Região do Globo	Tipo de Construção	Material de Construção	Sistema Construtivo	Durabilidade	Requisitos de Manutenção
América do Sul (clima quente e húmido)	Habitações de diversas dimensões e diversos formatos: circulares, elípticas ou retangulares. Geralmente são grandes e capazes de abrigar dezenas de pessoas. São afastadas entre si e organizadas de modo a formar uma praça central. Uso de materiais leves e por vezes com grandes aberturas.	Madeira ou bambu para a estrutura. Revestimento total ou parcial de colmo (geralmente folha de palmeira).	É comum a construção de uma estrutura contínua desde o pavimento à cobertura, feita em madeira ou bambu e revestida totalmente ou parcialmente por colmo. A amarração dos elementos é feita geralmente utilizando cipós.	Não tem grande durabilidade, mas com materiais de boa qualidade, adequada utilização e manutenção pode resistir durante dezenas de anos.	É necessário manutenção periódica do colmo e substituição após seu tempo de vida útil. Elementos da estrutura também devem ser inspecionados periodicamente e eventualmente substituídos. A aplicação de produtos preservativos, tanto a estrutura quanto ao revestimento, é aconselhável para aumentar a durabilidade.
América do Sul (clima de altitude)	Habitações geralmente de pequenas dimensões, por vezes sem janelas. Uso de materiais pesados. Formas retangulares ou circulares.	Terra e pedra nas paredes e, por vezes, na cobertura. Utilização do colmo na cobertura.	Geralmente paredes em adobe ou mistas de adobe e pedra. Cobertura do mesmo material das paredes ou com utilização do colmo.	Variável conforme o tipo de construção e os materiais utilizados. Com construção, utilização e manutenção adequada é possível garantir boa durabilidade.	A manutenção passa por reparação pontual de elementos da parede. A eventual aplicação e manutenção de reboco exterior podem conferir maior durabilidade. Nas coberturas de colmo é necessário manutenção periódica e substituição após o seu tempo de vida útil.

Região do Globo	Tipo de Construção	Material de Construção	Sistema Construtivo	Durabilidade	Requisitos de Manutenção
Caraíbas	Arquitetura bastante variada. Habitações de diversas dimensões e diversos formatos: circulares, ovais, hexagonais ou retangulares. Coberturas geralmente altas e bastante inclinadas. Uso de materiais leves. Afastamento entre as construções organizadas em torno de uma praça central.	Geralmente madeira para estrutura e revestimento das paredes. Colmo na cobertura.	Cobertura em colmo (geralmente folha de palmeira) assente sobre estrutura de madeira que emergem diretamente do solo ou apoiada em paredes, também de madeira.	Não tem grande durabilidade, mas com materiais de boa qualidade, adequada utilização e manutenção pode resistir durante dezenas de anos.	É necessário manutenção periódica do colmo e substituição após seu tempo de vida útil. Elementos de madeira também devem ser inspecionados periodicamente e eventualmente substituídos. A aplicação de produtos preservativos, tanto a estrutura quanto ao revestimento, é aconselhável para aumentar a durabilidade.
América Central	Formas diversas, mas geralmente arredondadas e com coberturas de formas cónicas ou piramidais altas e inclinadas. Geralmente sem janelas.	Terra e madeira nas paredes e cobertura de colmo. Construções importantes eram feitas com pedra.	Construções feitas sobre plataformas aterradas. Uso da madeira como estrutura e colmo na cobertura. Paredes geralmente de adobe.	Variável conforme o tipo de construção e os materiais utilizados. Com construção, utilização e manutenção adequada é possível garantir boa durabilidade. As construções importantes em pedra são as de maior durabilidade, existindo durante séculos.	A manutenção passa por reparação pontual de elementos da parede. A eventual aplicação e manutenção de reboco exterior podem conferir maior durabilidade. Nas coberturas de colmo é necessário manutenção periódica e substituição após o seu tempo de vida útil.

Região do Globo	Tipo de Construção	Material de Construção	Sistema Construtivo	Durabilidade	Requisitos de Manutenção
Sudoeste da Ásia	Edificações sobrelevadas do solo, com coberturas altas e bastante inclinadas, com variados formatos. Habitual uso de varandas e/ou terraços. Uso de materiais leves e preocupação com a ventilação, mesmo que por vezes sem existência de janelas. Paredes geralmente pintadas com cores fortes e ornamentadas.	Estrutura geralmente de madeira. Nas paredes e no pavimento, madeira ou bambu. Colmo na cobertura	Construções sobrelevadas do solo com estrutura de madeira. Paredes de madeira ou bambu com função não estrutural. O sistema estrutural leva toda a carga diretamente para as fundações. Cobertura em colmo.	É capaz de resistir em bom funcionamento durante dezenas de anos. Insetos, a podridão da madeira e a deterioração do colmo são os principais riscos para a construção.	É necessário manutenção periódica do colmo e substituição após seu tempo de vida útil. Elementos de madeira também devem ser inspecionados periodicamente e eventualmente substituídos. Também há necessidade de manutenção periódica da pintura das paredes. A aplicação de produtos preservativos, tanto à estrutura quanto ao revestimento, é aconselhável para aumentar a durabilidade.
Médio Oriente	Edificações verticais e muito perto uma das outras. Janelas pequenas localizadas a elevada altura. Em edificações baixas há, por vezes, chaminés para ventilação. Uso de materiais pesados, com forte inércia térmica. Predomínio de cores claras nas fachadas. A cobertura é geralmente plana.	Terra ou pedra nas paredes e cobertura.	Construções em altura, geralmente de adobe, em que as paredes são mais espessas na base e vão diminuindo de espessura proporcionalmente ao aumento de altura.	Se construídos de forma adequada e com terra com percentagens de argila e areia adequadas, podem durar dezenas e até centenas de anos com manutenções periódicas. Há edifícios destes com mais de 300 anos em perfeito funcionamento.	Deve-se garantir a proteção das paredes às águas das chuvas e ao vento, portanto anualmente é recomendada a manutenção do reboco das paredes e aplicação de uma camada de cal. Também pode ser necessário a verificação periódica da estanquidade da base das paredes.

Conforme foi citado, a durabilidade da construção e as necessidades de manutenção têm grande peso na avaliação da sustentabilidade. Estes fatores refletem na viabilidade económica da construção e no consumo de recursos. Construções em terra ou em pedra podem ter elevada durabilidade, por vezes sem necessidade de terem grandes manutenções. Enquanto construções em madeira, em bambu e as coberturas em colmo, podem ser desfavoráveis por serem mais propícias a degradação.

Na avaliação sustentável, o peso da durabilidade e da manutenção requerida deve ser conjugado com outros fatores, como o consumo de recursos e a sua gestão, a eficiência energética, o conforto ambiental proporcionado e o custo da construção ao longo de seu ciclo de vida.

O consumo energético e a emissão de poluentes para atmosfera são preocupações do mundo atual. Como foi visto, a indústria da construção civil é a maior responsável por estes, direta ou indiretamente. Convém ressaltar que o consumo energético de uma construção deve englobar todo o seu ciclo de vida, desde a extração dos materiais até a fase final de sua vida. A gestão de recursos também deve englobar toda a vida dos materiais. De modo sustentável deve-se ter uma exploração controlada da matéria-prima, dando preferência a materiais renováveis, de ampla disponibilidade e de possível reutilização ou reciclagem.

O ambiente interior e o impacto da construção no meio envolvente devem proporcionar condições de conforto aos utilizadores, sem agredir o meio ambiente. Diversas técnicas citadas permitem a promoção do conforto de modo natural, sem recurso a aparelhos de ar condicionado indesejáveis.

O custo global da construção, da sua fase de utilização e da sua pós-vida é preponderante para a escolha. Ser amigo do ambiente tem seu preço, mas nem sempre esse preço tem de ser mais caro. É possível ter construções sustentáveis e muito baratas. Como contributo para a sustentabilidade, o quadro seguinte analisa as construções estudadas.

Quadro 15 – Síntese dos contributos que as construções tradicionais podem oferecer para a sustentabilidade

Região do Globo	Contributo para a sustentabilidade			
	Gestão de recursos materiais	Eficiência Energética	Conforto ambiental	Economia
Norte da África	<p>Uso da terra, material natural não renovável, mas de ampla disponibilidade. Não produz resíduos, é possível a reintegração do material na natureza ou a sua reutilização após o seu ciclo de vida.</p>	<p>A construção e manutenção não consomem energia se forem feitas manualmente, em outro caso têm baixo consumo energético, uma vez que pode utilizar materiais disponíveis no local de construção. A sua utilização também requer baixo consumo energético, devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização.</p>	<p>O aproveitamento da inércia térmica dos materiais confere temperaturas de conforto por vezes suficiente. As paredes em terra são ainda capazes de regular a humidade relativa interior através da sua capacidade higroscópica e não contaminam o ar interior. Chaminés de ventilação podem favorecer uma ventilação mais adequada.</p>	<p>É uma construção barata, capaz de proporcionar conforto aos ocupantes e com considerável durabilidade, portanto, com boa relação custo/benefício. A matéria-prima é amplamente disponível e não requer grande tecnologia para a sua construção. O maior gasto na construção é referente a mão-de-obra.</p>
África Ocidental (Exemplo Cabo Verde)	<p>Uso da pedra, material natural não renovável, a sua intensa exploração pode alterar o meio ambiente envolvente. Mas é possível a reintegração do material na natureza ou a sua reutilização após o seu ciclo de vida.</p>	<p>A exploração e transporte da matéria-prima pode requerer considerável consumo energético, se não forem feitos manualmente. A construção e utilização requerem baixo consumo energético. Devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.</p>	<p>Cuidados com o sombreamento, juntamente com utilização da cobertura em colmo e a elevada espessura das paredes em pedra é possível proporcionar temperaturas de conforto por vezes suficiente. A caiação das fachadas também contribui para a menor absorção de energia solar. O espaço entre a cobertura e as paredes favorece a ventilação.</p>	<p>É capaz de ter boa durabilidade e não ser cara, mas a exploração inadequada de pedreiras pode trazer problemas ambientais. O gasto com mão-de-obra também é significativo. Além disso, por mais perto que a matéria-prima esteja do local de construção há sempre gastos em transporte, ainda mais se tratando de um material pesado. Portanto a sua viabilidade económica deve ser conjugada com fatores específicos do local.</p>

Região do Globo	Contributo para a sustentabilidade			
	Gestão de recursos materiais	Eficiência Energética	Conforto ambiental	Economia
África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)	Uso de materiais naturais diversos. Predomínio do uso da terra, material não renovável, mas de ampla disponibilidade. Não produz resíduos, é possível a reintegração do material na natureza ou a sua reutilização após o seu ciclo de vida.	A sua construção e manutenção não consomem energia se forem feitas manualmente, em outro caso têm baixo consumo energético, uma vez que pode utilizar materiais disponíveis no local de construção. A sua utilização também requer baixo consumo energético, devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.	O sombreamento das fachadas e o aproveitamento da inércia térmica dos materiais conferem temperaturas de conforto por vezes suficiente. A possível caiação das fachadas exteriores também contribui para a menor absorção de energia solar. As paredes em terra são ainda capazes de regular a humidade relativa interior através da sua capacidade higroscópica e não contaminam o ar interior. Os espaços entre a cobertura e as paredes proporcionam a ventilação.	É uma construção barata, capaz de proporcionar conforto aos ocupantes e com considerável durabilidade, portanto, com boa relação custo/benefício. A matéria-prima é amplamente disponível e não requer grande tecnologia para a sua construção, o maior gasto na construção é referente a mão-de-obra. Os custos com manutenção ainda podem ser significativos.
África Centro-Sul	Idem África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)	Idem África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)	Idem África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)	Idem África Ocidental (Exemplo Guiné-Bissau)

Região do Globo	Contributo para a sustentabilidade			
	Gestão de recursos materiais	Eficiência Energética	Conforto ambiental	Economia
América do Sul (clima quente e húmido)	Uso de materiais naturais de origem vegetal, provenientes de fontes renováveis. Mas as suas extrações devem ser feitas de forma controlada para não destruir áreas florestais. Após o término dos seus ciclos de vida, os materiais podem ser reutilizados para outros fins, além disso são biodegradáveis, não deixando resíduos para o meio ambiente.	A sua construção requer muito trabalho manual, mas pouco ou nenhum consumo energético. A extração e transporte da matéria-prima até ao local de construção representam os maiores consumos energéticos. Todo o seu ciclo de vida tem baixo consumo. Devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.	O uso de materiais leves e a permeabilidade da construção ao ar, permitem proporcionar o conforto por vezes suficiente. A ventilação elimina o excesso de humidade do ar interior. O uso de materiais de baixa inércia térmica evita o sobreaquecimento nesses climas.	É uma construção que utiliza materiais ecológicos e baratos, porém requer bastante trabalho manual, elevando os custos com mão-de-obra. A sua baixa durabilidade e grande necessidade de manutenção põem em causa a viabilidade económica. Pode ser adequado para construções de carácter temporário.
América do Sul (clima de altitude)	Uso da terra e da pedra, materiais naturais não renováveis. No caso da pedra, a sua intensa exploração pode alterar o meio ambiente envolvente. Mas é possível a reintegração de ambos os materiais na natureza ou a suas reutilizações após os seus ciclos de vida.	A exploração e transporte da matéria-prima pode requerer considerável consumo energético, caso não sejam feitos manualmente. A sua construção e utilização requerem baixo consumo energético. Devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.	O aproveitamento da inércia térmica dos materiais confere temperaturas de conforto por vezes suficiente. A utilização da terra nas paredes é ainda capaz de regular a humidade relativa interior através da sua capacidade higroscópica e não contamina o ar interior. Se existir, os espaços entre a cobertura e as paredes proporcionam a ventilação.	É uma construção barata, capaz de proporcionar conforto aos ocupantes e com considerável durabilidade, portanto, com boa relação custo/benefício. A terra é amplamente disponível e não requer grande tecnologia para a sua construção. Um considerável gasto na construção é o referente a mão-de-obra.

Região do Globo	Contributo para a sustentabilidade			
	Gestão de recursos materiais	Eficiência Energética	Conforto ambiental	Economia
Caraíbas	<p>Uso de materiais naturais de origem vegetal, provenientes de fontes renováveis. Mas as suas extrações devem ser feitas de forma controlada para não destruir áreas florestais. Após o término dos seus ciclos de vida, os materiais podem ser reutilizados para outros fins, além disso são biodegradáveis, não deixando resíduos para o meio ambiente.</p>	<p>A sua construção requer pouco consumo energético, ou nenhum caso seja feita toda manualmente. A extração e transporte da matéria-prima até ao local de construção representam os maiores consumos energéticos. Todo o seu ciclo de vida tem baixo consumo. Devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.</p>	<p>O uso de materiais leves e a permeabilidade da construção ao ar, permitem proporcionar o conforto por vezes suficiente. A ventilação elimina o excesso de humidade do ar interior. O uso de materiais de baixa inércia térmica evita o sobreaquecimento nesses climas. Cobertura alta e bastante inclinada favorece o escoamento das águas da chuva e também promove a ventilação no interior.</p>	<p>É uma construção que utiliza materiais ecológicos e disponíveis na região, porém requer bastante trabalho manual, elevando os custos com mão-de-obra. A sua baixa durabilidade e grande necessidade de manutenção põem em causa a viabilidade económica. Pode ser adequado para construções de carácter temporário.</p>
América Central	Idem América do Sul (clima de altitude)	Idem América do Sul (clima de altitude)	Idem América do Sul (clima de altitude)	Idem América do Sul (clima de altitude)

Região do Globo	Contributo para a sustentabilidade			
	Gestão de recursos materiais	Eficiência Energética	Conforto ambiental	Economia
Sudoeste da Ásia	Uso de materiais naturais de origem vegetal, provenientes de fontes renováveis. Mas as suas extrações devem ser feitas de forma controlada para não destruir áreas florestais. Após o término dos seus ciclos de vida, os materiais podem ser reutilizados para outros fins, além disso são biodegradáveis, não deixando resíduos para o meio ambiente.	A sua construção requer pouco consumo energético, ou nenhum caso seja feita manualmente. A extração e transporte da matéria-prima até ao local de construção representam os maiores consumos energéticos. Devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a aparelhos de climatização artificial.	O uso de materiais leves, a preocupação com o sombreamento e a permeabilidade da construção ao ar, permitem proporcionar o conforto por vezes suficiente. A ventilação elimina o excesso de humidade do ar. O uso de materiais de baixa inércia térmica, juntamente com o sombreamento, evita o sobreaquecimento. A cobertura alta e bastante inclinada favorece o escoamento das águas da chuva e também a ventilação no interior. A sobrelevação da construção diminui os problemas com insetos e águas superficiais, além de favorecer a ventilação.	É uma construção que utiliza materiais ecológicos e disponíveis na região, porém requer bastante trabalho manual, elevando os custos com mão-de-obra. É capaz de resistir a sismos, mas a sua durabilidade é em grande parte dependente de manutenção periódica.
Médio Oriente	Uso da terra ou da pedra, materiais naturais não renováveis. No caso da pedra, a sua intensa exploração pode alterar o meio ambiente envolvente. Mas é possível a reintegração de ambos os materiais na natureza ou a suas reutilizações após os seus ciclos de vida.	A sua construção e manutenção não consomem energia se forem feitas manualmente, em outro caso têm baixo consumo energético, uma vez que podem utilizar materiais disponíveis no local de construção (no caso da terra). A utilização também requer baixo consumo, devido a sua adaptação bioclimática é geralmente desnecessário o recurso a climatização artificial.	O aproveitamento da inércia térmica dos materiais confere temperaturas de conforto por vezes suficiente. A utilização da terra nas paredes é ainda capaz de regular a humidade relativa interior através da sua capacidade higroscópica e não contamina o ar interior. Chaminés de ventilação podem favorecer uma ventilação mais adequada.	É uma construção barata, capaz de proporcionar conforto aos ocupantes e com considerável durabilidade, portanto, com boa relação custo/benefício. A terra é amplamente disponível e não requer uso de grande tecnologia na construção. O maior gasto na construção é referente a mão-de-obra.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

4.1. Conclusão

O planeta sofre da ameaça de elevado nível de consumo de recursos e dos efeitos do aquecimento global da Terra. É evidente a necessidade de mudança de algumas atitudes e mentalidades que têm conduzido à presente situação. Conforme apresentado ao longo desta dissertação, o setor da construção civil é um setor que origina um grande impacto ambiental, sendo deste modo um dos que mais pode contribuir para sustentar e inverter a situação e os problemas ambientais do panorama atual. Conforme discutido, este contexto é particularmente importante para as regiões tropicais, pois são estas que apresentam grande taxa de crescimento demográfico e urbano para o futuro próximo.

A procura de novos paradigmas para o setor da construção civil torna-se imprescindível para o processo de desenvolvimento sustentável, isto é, um desenvolvimento com respeito das questões ambientais, económicas e sociais nas sociedades.

A construção sustentável ao basear-se em princípios ecológicos e eficazes para minimizar o consumo de recursos e reduzir as emissões, permite também a preservação de valores culturais, arquitetónicos e sociais na região em que se insere a sua intervenção, incentivando deste modo a que se assegure o respeito pelas boas práticas da construção, o conceito da arquitetura bioclimática tendo em vista promover o conforto e a qualidade do espaço de modo energeticamente eficiente e ambientalmente menos prejudicial.

Nesta dissertação foram abordados diversos tipos de construções tradicionais em várias regiões tropicais do mundo. Como apresentado, este tipo de construções são muito mais ecológicas que a maioria das construções mais recentes no mundo atual, pois fazem uso de materiais naturais locais, quase sempre de origem renovável ou em grande abundância na região; integram-se em harmonia e com respeito pela natureza; adaptam-se ao clima através de técnicas passivas, minimizando as necessidades de consumo energético; entre outras vantagens. Nesse contexto considera-se que olhar para o passado pode trazer benefícios para o futuro através de um processo de aprendizagem de boas práticas.

Os cuidados na definição da forma e da seleção dos materiais utilizados para adaptação da construção vernacular ao meio foram desenvolvidos muito antes que qualquer teoria científica tivesse sido inventada para justificar e orientar o modo do seu funcionamento. Foram simplesmente construídos ao longo de conhecimentos passados por gerações através de aprendizagem por tentativa e erro, mas sobreviveram com grande eficácia ao longo de séculos, merecendo por isso uma especial atenção.

Com a introdução dos materiais de construção modernos, como o betão, os materiais cerâmicos e o aço, materiais tradicionais foram sendo gradualmente substituídos. Por vezes foram substituídos inadequadamente, contribuindo para a redução do conforto nas habitações, assim como desrespeitando costumes e tradições no modo de habitar.

A escolha de materiais sustentáveis para a construção não se limita apenas a escolha de materiais naturais e locais. A disponibilidade da matéria-prima, a energia incorporada nos mesmos, a adaptabilidade e resistência ao clima e o seu potencial de reutilização e/ou reciclagem são fundamentais no seu processo de escolha. Um produto deve ser avaliado ao longo de todo o seu ciclo de vida. A nível ecológico a viabilidade de um material implica a avaliação do seu impacto sobre o meio ambiente, o qual tem caras consequências: poluição, consumo de recursos, erosão do solo, produção de resíduos, entre outros.

Numa atitude mais radical questiona-se sobre a necessidade de consumo de certo tipo de materiais. Infelizmente não existe ainda muito a noção de poupança de recursos na construção. O processo construtivo tem elevados desperdícios e ainda não há muito o hábito de reabilitar, optando-se por demolir e construir novos edifícios, sem uma avaliação prévia das vantagens e desvantagens da decisão. Apesar de ter pouco significado no momento atual, a reutilização de materiais sempre aconteceu na história, mas esta só tem sido possível quando há mais-valias económicas, técnicas ou sociais muito evidentes.

É pois necessário projetar para a conservação e pensar na pós-vida das edificações. A facilidade de readaptação dos edifícios ou a desconstrução seletiva é favorável face à demolição, resultando em materiais possíveis de serem reutilizados ou reciclados. Deste modo considera-se que a existência de um manual de desconstrução, assim como a listagem de todos os materiais utilizados na obra inicial é algo que pode ter benefícios futuros em termos de sustentabilidade ao setor da construção. A utilização de ligações mecânicas em vez de químicas também permitem facilitar o processo de desconstrução.

Foi evidenciado ao longo de toda esta dissertação que é necessário ter respeito pelos materiais na elaboração de um projeto e também pelo clima local. Foi estudada a arquitetura bioclimática, como aquela que se foca nas condicionantes locais, climáticas, solares, formais e espaciais. Em síntese, as principais preocupações a ter num projeto bioclimáticos para regiões quentes são:

- Localização, orientação e forma do edifício (influência do sol e do vento);
- Técnicas de proteção contra o calor (inércia térmica, sombreamento, cores claras);
- Técnicas de dissipação do calor (ventilação e arrefecimento evaporativo).

A introdução destes princípios é capaz de modelar uma cidade ou um edifício de forma a obter habitabilidade e conforto com um menor impacto ambiental. Esta preocupação sempre existiu nas construções vernaculares, mesmo que de um modo não consciente. Infelizmente na generalidade da arquitetura moderna não existe tanta atenção ao conforto térmico como antigamente, onde havia proveitos de inercia térmica, proveito das dimensões dos vãos, utilização de alpendres e coberturas ventiladas, etc.

Embora muitas publicações refiram de forma intensiva os potenciais benefícios da arquitetura bioclimática, o seu uso é mal compreendido e erradamente considerado complicado, ineficiente ou caro, pelo que muitos construtores ainda optam pelo uso “seguro” do ar condicionado em vez do “risco” desta arquitetura.

As regiões tropicais recebem maior incidência de energia solar do que as áreas mais próximas dos polos, tornando o calor um problema e o sombreamento em algo necessário de garantir. Como estudado, o sombreamento e a adoção de cores claras nos edifícios em ambientes tropicais são requisitos fundamentais para um projeto sustentável. A utilização de paredes duplas e materiais de grande inércia térmica também podem contribuir para regular a temperatura interior, principalmente em climas quentes e secos.

A troca de princípios básicos da construção por questões estéticas e influências de modelos internacionais podem ter consequências muito negativas. Por exemplo um edifício com fachadas envidraçadas e não sombreadas nos trópicos apresentaria um consumo energético excessivo com recurso à utilização de aparelhos de climatização para evitar controlar os efeitos do sobreaquecimento, enquanto o mesmo edifício em regiões frias poderia ser uma ótima opção. Em climas quentes e secos os vidros também necessitam de constante limpeza, devido ao potencial de sujidade do ar com muita poeira.

Assim, a ventilação em climas secos deve ser essencialmente noturna, enquanto em climas húmidos deve ser noturna e também diurna. O clima húmido necessita de maior fluxo de ventilação devido a elevada humidade do ar, a qual pode causar desconforto nos ocupantes e patologias em elementos construtivos. Em climas húmidos a ventilação promove a evaporação do suor, o qual é um elemento regulador da temperatura corporal, desta forma melhora o conforto.

Em relação ao urbanismo, a promoção de áreas verdes nas cidades é uma das principais estratégias para reduzir o efeito ilha-de-calor. A vegetação tem grande importância para regular o clima nas cidades através da produção de humidade pela evapotranspiração e da dissipação da radiação absorvida. Nos densos centros urbanos, onde há pouco espaço para áreas verdes, coberturas verdes podem ser uma solução de contribuir positivamente para melhorar o ambiente ao redor, além de promover boa proteção térmica para os edifícios.

Em climas húmidos as ruas devem ser orientadas de forma a aproveitar as brisas de ar, e a arborização não deve impedir a circulação do ar, sendo árvores altas as mais aconselháveis. O posicionamento de edifícios com diferentes alturas pode ainda promover melhoria na ventilação urbana e acentuar o sombreamento entre edifícios adjacentes. Ruas com traçados regulares e espaços amplos entre os edifícios também favorecem positivamente a ventilação.

A adoção de manuais de utilização e manutenção para os edifícios seria bastante benéfico. Elementos explicativos sobre como promover a ventilação, o sombreamento, a proteção e a iluminação da habitação podem diminuir os gastos energéticos e promover o conforto de uma forma mais saudável. Enquanto a indicação de prazos para as ações de manutenção certamente contribui para aumentar a durabilidade e reduzir custos com ações corretivas.

Medidas preventivas permitem reduzir e adiar ações corretivas e são de extrema importância para aumentar a durabilidade das construções, especialmente quando se trata de materiais de construção naturais. A madeira, o bambu e o colmo podem ser facilmente

degradados por agentes climáticos ou insetos e fungos quando não tratados e aplicados com alguns cuidados. Mesmo que as suas substituições periódicas possam ser feitas com alguma facilidade, estas tem custos económicos e ambientais.

Edifícios em terra também correm grande risco de erosão. Um ponto fraco das construções em terra são as águas: inundações, chuvadas e capilaridade. Uma maneira de prevenir este problema pode ser a simples introdução de pendentes para encaminhar as águas, o prolongamento de coberturas e o reboco das superfícies exteriores.

Além da preocupação com o clima e com os materiais, foi visto que a preocupação com os hábitos e costumes dos próprios utilizadores é também de fundamental importância na elaboração e eficácia de um projeto. É necessário saber como, onde e para quem projetar, ou seja, conhecer o projeto por completo.

Como uma das conclusões desse estudo, verifica-se que construir em regiões de clima tropical tem vantagens e desvantagens. Apresenta-se, então, as principais potencialidades que podem ser aproveitadas para uma construção civil com visão sustentável nesse contexto. Por outro lado, apresenta também alguns constrangimentos que podem ser obstáculos para atingir o objetivo.

Potencialidades:

- Temperaturas médias diárias com pouca variação ao longo do ano e ausência de estações frias, logo não há necessidades de aquecimento.
- Intensa radiação solar (principalmente em climas tropicais secos), o que é propício para a instalação de coletores solares e painéis fotovoltaicos.
- Abundância de recursos materiais naturais em alguns países tropicais.
- Relativamente recente crescimento urbano e modelação de muitas cidades em ambientes tropicais, o que facilita a elaboração de planos urbanísticos mais sustentáveis.
- Oportunidade para uso de materiais reciclados ou reutilizados, assim como materiais amplamente disponíveis na natureza, logo mais baratos, uma vez que a maioria da população desses países tem baixo rendimento económico.

Constrangimentos:

- Em muitos países tropicais faltam leis, apoios e incentivos governamentais que estimulem a adoção de medidas sustentáveis na construção. Ou mesmo existindo há grande percentagem de incumprimento.
- Falta conhecimento da generalidade das pessoas sobre o assunto "sustentabilidade". Além de incertezas sobre a sua eficácia e vantagens face ao investimento inicial.
- Há preconceito ao uso de materiais tradicionais.
- Falta profissionais especializados e com conhecimento técnico sobre o assunto.
- Falta recursos materiais e tecnológicos em alguns países tropicais.

- Inadequada rede de transportes e distribuição geográfica em muitos países tropicais.
- Espaços urbanos por vezes marcados pela baixa qualidade ambiental com insuficiência de espaços públicos, equipamentos e infraestruturas.
- Fraca cultura de planeamento urbano e inadequada expansão da malha urbana.
- Excesso populacional e défice habitacional em muitas megacidades tropicais.
- Maior deterioração de alguns materiais de construção expostos ao clima e a agentes destrutivos, como por exemplo insetos.
- Baixo rendimento económico da maioria da população dos países em questão.
- Carência energética em alguns casos.
- Rápido crescimento demográfico e êxodo rural.
- Baixa qualidade em termos funcionais, de construção e de conforto dos edifícios.
- Visível desigualdade social e desigualdade nas construções existentes.

A generalidade dos países em climas tropicais estão ainda em via de desenvolvimento, tendo um longo caminho a percorrer em nível estrutural para conseguir um verdadeiro desenvolvimento sustentável. Há grande desigualdade social que provoca a existência de imóveis de luxo ao lado de construções “informais”.

Além da insustentabilidade social e ambiental dos bairros “informais”, as construções neles realizadas são de baixa qualidade. São construções clandestinas, autoconstruções e construções realizadas por empresas sem alvará, as quais utilizam materiais e técnicas normalmente inadequadas. É comum a ausência de normalização, fiscalização e regulamentação apropriada.

Acredita-se na importância da acessibilidade a autoconstrução, ou seja a possibilidade de qualquer pessoa poder construir sua casa, mas de forma controlada e adequada. Ações de formação prática sobre construção com materiais naturais pode colaborar para a sustentabilidade e para reduzir o défice habitacional nas classes mais pobres da população.

É fundamental também reverter o atual preconceito aos materiais tradicionais, os quais são vistos pela população como antiquados, pouco civilizados ou pouco duráveis. Para isto, é interessante a realização de ações educativas para a vantagem destes materiais na construção e também fortalecer o orgulho a valores culturais e históricos.

Como foi abordado nessa dissertação, uma adequada construção em terra pode durar centenas de anos, além de ser relativamente barata, ecológica e saudável, principalmente em climas secos. Os prazos de construção e o investimento em equipamentos são reduzidos, sendo a mão-de-obra o maior custo. Em locais onde a mão-de-obra tem ampla oferta, a construção em terra é bastante atrativa.

A maior vantagem da utilização da madeira, do bambu e do colmo é o fato de serem provenientes de fontes renováveis, mas deve-se ter o cuidado de serem oriundas de reflorestamento. Em locais com ampla disponibilidade florestal, ou seja, em climas húmidos, consegue-se construções ecológicas e baratas com recurso a estes materiais.

Em geral, os materiais naturais são bastante atrativos pelo fato de necessitarem pouca energia e por serem produzidos e aplicados a partir de processos simples. Estes também são biodegradáveis, facilmente reintegráveis na natureza ou, em alguns casos, possíveis de reutilização, ou seja, contribuem para reduzir os resíduos de construção.

O uso conjunto de materiais modernos e materiais tradicionais tem diversos benefícios, como a maior impermeabilização e a maior resistência mecânica que alguns materiais modernos podem proporcionar. Por exemplo o uso de armaduras metálicas para estabilização de paredes de terra ou, em coberturas, o uso de chapas metálicas sob o colmo.

As preocupações crescentes com a sustentabilidade podem também contribuir para a redescoberta de identidades culturais. Nos dias atuais a adoção de modelos arquitetônicos tradicionais em complexos turísticos, o chamado ecoturismo, tem ajudado a promover a sustentabilidade, promovendo a cultura local e o uso de materiais ditos ecológicos, como a pedra e a madeira. Muitas vezes também conseguem com baixo investimento ter grande rentabilidade económica.

Acredita-se, também, que é fundamental criação de mais projetos que visem a troca de informação e laços internacionais entre países, como o projeto Sure-África, o qual envolve países africanos e europeus. Assim como, a troca de informação sobre a certificação sustentável, a qual ainda não tem grande força nos países de climas tropicais.

Para finalizar, conclui-se que a opção por materiais e técnicas tradicionais tem ampla potencialidade para o processo de Desenvolvimento Sustentável, principalmente para construções realizadas em zonas rurais e em complexos turísticos ou para construções de carácter temporário.

Não imagina-se um retrocesso das atuais construções para o mesmo tipo de construções que habitavam os nossos antepassados, mas idealiza-se a adaptação de aspetos construtivos e arquitetónicos dessas construções como soluções alternativas para os problemas atuais. A introdução nas construções vernaculares de tecnologia e de alguns materiais modernos, que permitem melhorar a eficiência e o conforto para os atuais requisitos, pode ser a resposta.

Também a aplicação de painéis fotovoltaicos, coletores solares, ou mesmo mini eólicas, nas edificações podem ser bastante rentáveis em climas tropicais. A intensa radiação solar permite o funcionamento constante destes equipamentos de produção de energia renovável, o que permite poupança energética que compensa a longo prazo o investimento inicial. No contexto estudado, o maior problema da aquisição destes equipamentos passa pelo seu ainda elevado investimento inicial, o que para a maioria das pessoas é inviável.

Sabe-se que ainda existem muitos problemas teóricos e técnicos pra resolver antes que se possa ter uma verdadeira construção sustentável, mas se cada cidadão der algum contributo não será difícil alcançar os objetivos. É possível que um novo modelo de construção pós-industrial apareça, de forma a reconstruir uma sociedade menos consumidora e também mais saudável. Talvez seja necessário adicionar um pouco de passado no futuro.

4.2. Desenvolvimentos futuros

Esta dissertação tentou abranger, através de conceitos basicamente teóricos, a potencialidade da adoção de técnicas bioclimáticas e materiais de construção tradicionais para a construção sustentável em regiões tropicais.

A contribuição aqui realizada reflete as vantagens e desvantagens da construção tradicional, mas cuja importância recomenda que pela não existência de dados concretos sobre alguns dos materiais locais estes necessitem de ser mais estudados e caracterizados. Assim, e como desenvolvimento futuro da investigação realizada, considera-se que é importante a identificação, caracterização e avaliação do Ciclo de Vida nos materiais e sistemas construtivos identificados como vernaculares típicos de cada clima abordado na presente dissertação. Somente com este estudo será possível comprovar de modo rigoroso e quantitativo o contributo para a sustentabilidade dessas opções e soluções construtivas.

Por outro lado, seria também importante estudar a viabilidade de recorrer a estes sistemas e processos construtivos nos futuros edifícios, em particular para a construção de habitação de custos controlados e reduzidos. Recomenda-se a divisão do estudo em edifícios de diversas tipologias, ou seja, com alturas diferentes, uma vez que a construção em altura pode ser um risco para os materiais tradicionais. Recomenda-se ainda a separação do estudo em relação ao poder económico dos seus potenciais proprietários, uma vez que é completamente diferente a construção “informal” da construção regulamentada. Outra divisão pode ser a relativa a construções temporárias e construções definitivas, ou ainda a viabilidade de aproveitamento para o ecoturismo.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AYOADE, J.O. – *Introdução à Climatologia para os Trópicos*. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1996.
- [2] UNITED NATIONS – *Urban and Rural Areas 2007*. New York, United Nations publication, 2008. (Consultado em 01/09/2012).
http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007_urban_rural_chart.pdf
- [3] CORREIA GUEDES, M. *et al.* – *Arquitetura Sustentável em Moçambique: Manual de Boas Práticas*. Lisboa, ed. CPLP, 2011.
- [4] BAY, J.; ONG, B. – *Tropical Sustainable Architecture: Social and Environmental Dimensions*. Oxford, Architectural Press, 2006.
- [5] BRUNTLAND, G. – *Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development*, Oxford, Oxford University Press, 1987.
- [6] TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said – *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. Universidade do Minho, ed. TecMinho, 2010.
- [7] PENEDA, Constança – *Incentivar a Sustentabilidade Empresarial*. V.N.Gaia, ADEACE, 2008.
- [8] EDWARDS, Brian – *O Guia Básico Para a Sustentabilidade*. Barcelona, Editorial Gustavo Gil, 2008.
- [9] AUGUSTO, C.A. de Oliveira – *A Metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida na Definição de Critérios de Sustentabilidade em Edifícios*. Lisboa, Universidade Lusíada Editora, 2011.
- [10] STERN, Nicholas – *The Economics of Climate Change*. Cambridge, Cambridge University Press, 2007.
- [11] UNITED NATIONS – *The Millennium Development Goals Report 2011*. New York, United Nations publication, 2011. (Consultado em 01/09/2012).
http://www.un.org/millenniumgoals/11_MDG%20Report_EN.pdf
- [12] UNITED NATIONS – *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision*. New York, United Nations publication, 2011. (Consultado em 01/09/2012).
http://esa.un.org/unup/pdf/WUP2011_Highlights.pdf
- [13] EIA – *International Energy Outlook 2011*. USA, U.S. Energy Information Administration, 2011. (Consultado em 01/09/2012) [http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484\(2011\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2011).pdf)
- [14] ABDULLAH, A.Q.M. – *Evolution of a Shopping Street: Conflict and Compatibility*. Bangladesh, International Seminar – Architecture Overcoming Constraints, Bangladesh University of Engineering and Technology, 2003.
- [15] UNEP – *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*. United Nations Environment Programme, 2011. (Consultado em 01/09/2012).
http://www.unep.org/resourcepanel/decoupling/files/pdf/decoupling_report_english.pdf
- [16] AMADO, M. P. *et al* – *Relatório de Candidatura à Concessão de Terrenos em Cacuaco – Angola*. Luanda, Cunha & Irmão SARL, 2009.
- [17] KIBERT, Charles – *Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery (2º Edition)*. New Jersey, John Wiley & Sons, 2008.
- [18] MATEUS, R. – *Novas Tecnologias Construtivas com Vista à Sustentabilidade da Construção*. Guimarães, Tese de Mestrado, Universidade do Minho, 2004.

- [19] MEADOWNS, D. et al. – *The Limits to Growth: a 30-year update*. Chelsea, Green Publishing, 2004.
- [20] BARATELLA, Paula – *Análise do Desenvolvimento de Indicadores para a Avaliação de Sustentabilidade de Edifícios Brasileiros*. São Paulo, Tese de Mestrado, UNICAMP, 2011.
- [21] OLIVER, Paul – *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World: Cultures and Habitat – Vol. I*. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- [22] ROMERO, M.A. Bustos – *Arquitetura Bioclimática do Espaço Público*. Brasília, ed. Universidade de Brasília, 2007.
- [23] ROMERO, M. A. Bustos – *Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano*. Brasil, ed. CopyMarket.com, 2000.
- [24] LAMBERTS, R. et al. – *Eficiência Energética na Arquitetura*. São Paulo, PW Editores, 1997.
- [25] CORBELLA, O.; YANNAS, S. – *Em busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos, conforto ambiental*. Rio de Janeiro, Editora Revan, 2009.
- [26] CORREIA GUEDES, M. et al. – *Arquitetura Sustentável em Angola: Manual de Boas Práticas*. Lisboa, ed. CPLP, 2011.
- [27] COX, E. Pagliarini. – *Interação entre Clima e Superfície Urbanizada: O Caso da Cidade de Várzea Grande/MT*. Cuiabá, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso, 2008.
- [28] OKE, T. R. et al. – *Parameterization of the Heat Storage in Urban Areas*. Urban Ecology, Volume 5, págs. 45-54, Elsevier, 1981.
- [29] THOMARK, C. – *The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building*. Building and Environment, Volume 41, págs.1019-1026, Elsevier, 2006.
- [30] GONZALEZ, M.; NAVARRO, J. – *Assessment of the Decrease of CO₂ Emissions in the Construction Field through the Selection of Materials*. Building and Environment, Volume 41, págs. 902-909, Elsevier, 2006.
- [31] CLARK, Lynn – *Bamboo Diversity*. Iowa State University, 2005.
(Consultado em 01/09/2012). <http://www.eeob.iastate.edu/research/bamboo/maps.html>
- [32] UGARTE, J.; HABUSTA, M. – *Bamboo the Vegetal Miracle*. Costa Rica, Instituto de Arquitectura Tropical, 2011. (Consultado em 01/09/2012).
<http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/BAMBOO.pdf>
- [33] LOBOVIKOV, Maxim et al. – *World Bamboo Resources: A Thematic Study Prepared in Framework of the Global Forest Resource Assessment 2005*. Roma, FAO, 2007
- [34] LENGEN, J.V. – *Manual do Arquiteto Descalço*. Porto Alegre, Livraria do Arquiteto, 2004.
- [35] RECHT, C.; WETTERWALD, M. – *Bamboos*. Oregon, Timber Press, 1992.
- [36] CORREA, C.; KUKREJA, C. P. – *Principios de Arquitectura Domestica en el Tropico*. Instituto de Arquitectura Tropical, 2011. (Consultado em 01/09/2012).
<http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/PRINCIPIOS%20ARQUIT%20DOMESTICA%20TROPICAL.pdf>
- [37] CACHIM, P. Barreto - *Construções em Madeira, a Madeira como Material de Construção*. Porto, Publindústria, 2007.

- [38] PORTO, A. L. Gonçalves *et al.* – *Indicadores de Sustentabilidade (LCA) e Análise do Ciclo de Vida para Madeiras de Reflorestamento na Construção Civil*. São Paulo, UNICAMP, 2008. (Consultado em 01/09/2012).
http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2008/anais/arquivosEPG/EPG01033_02_A.pdf
- [39] ZENID, José *et al.* – *Madeira: Uso Sustentável na Construção Civil*. São Paulo, IPT, 2009.
- [40] GROOMBRIDGE, B.; JENKINS, M. – *World Atlas of Biodiversity: Earth's Living Resources in the 21st Century*. Berkeley, University of California Press, 2002.
- [41] ZHAI, Z.; PREVITALI, J.M. – *Ancient Vernacular Architecture: Characteristics Categorization and Energy Performance Evaluation*. Energy and Buildings, Volume 42, nº 3, págs. 357-365, Elsevier, 2010.
- [42] FEARN, Jacqueline. – *Thatch and Thatching*. UK, Shire Publications, 2004.
- [43] MORIARTY, J. P.; SVARE, T. I. – *Housing Materials and Methods for Tropical Africa*. Building Research and Practice, Volume 4, nº 1, pag. 28, Batiment International, 1976.
- [44] CORREIA GUEDES, M. *et al.* – *Arquitetura Sustentável em Cabo Verde: Manual de Boas Práticas*. Lisboa, ed. CPLP, 2011.
- [45] CORREIA GUEDES, M. *et al.* – *Arquitetura Sustentável em Guiné-Bissau: Manual de Boas Práticas*. Lisboa, ed. CPLP, 2011.
- [46] HELFRITZ, H. – *Land without shade*. Journal of the Royal Central Asia Society, Volume 24, nº 2, págs. 201-216, Routledge, 1937.
- [47] TORGAL, F. Pacheco; JALALI, Said – *Construção em Terra: Algumas Considerações sobre a Seleção de Solos*. Covilhã, Universidade do Minho, 2009. (Consultado em 01/09/2012). <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/10454>
- [48] MOREL, J.C. *et al.* – *Building Houses with Local Materials: Means to Drastically Reduce the Environmental Impact of Construction*. Building and Environment, Volume 36, nº 10, págs. 1119-1126, Elsevier, 2001.
- [49] RUFO, R. Gonçalves – *Ensaio de Caracterização Mecânica das Alvenarias de Adobe: Flat-jack Testing*. Aveiro, Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 2010.
- [50] DOAT, P. *et al.* – *Construire em Terre*. France, CRAterre- École d'Architecture de Grenoble, 1979.
- [51] BARBOSA, N. *et al.* – *Blocos de Concreto de Terra: uma Opção Interessante para a Sustentabilidade da Construção*. Minas Gerais, 44º Congresso Brasileiro de Concreto. Belo-Horizonte, 2002.
- [52] MOREIRA, A. Mendes – *Pedras Naturais*. Tomar, Elementos de apoio da disciplina "Materiais de Construção I", Instituto Politécnico de Tomar, 2008/2009 – 1º Semestre.
- [53] MABALEKA, Bonginkosi G. – *The Vernacular Architecture as a Model for Sustainable Design in Africa*. 2010. (Consultado em 01/09/2012).
<http://www.mendeley.com/research/vernacular-architecture-model-sustainable-design-africa/>
- [54] OLIVER, Paul – *Built to Meet Needs: Cultural Issues in Vernacular Architecture*. Oxford, ed. Architectural Press, 2006.
- [55] GOURGEL, Mário – *A Importância da Arquitetura Sustentável nos Países de Clima Tropical; Análise de casos na cidade de Luanda*. Lisboa, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.
- [56] OLIVER, Paul – *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World: Cultures and Habitat – Vol. III*. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.

- [57] INOCÊNCIO, Débora – *Construção e Arquitectura Sustentáveis em Cabo Verde: Estudo de Estratégias de Projecto Sustentável*. Lisboa, Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, 2012.
- [58] LOPES, Leão – *Manual Básico de Construção: Guia ilustrado para a construção de habitação*. Mindelo, Ministério das Infra-estruturas e Habitação, 2001.
- [59] FERNANDES, J. Manuel – *África, Arquitectura e Urbanismo de Matriz Portuguesa*. Casal de Cambra, Caleidoscópio, 2011.
- [60] STEEN, Bill *et al.* – *Built by Hand: Vernacular Buildings Around the World*. Utah, ed. Gibbs Smith, 2003.
- [61] PINTO, J. da Cruz *et al.* – *Cidades Africanas*. Lisboa, Cadernos da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnicas de Lisboa, 2005.
- [62] CREMONESI, F. *et al.* – *Clima e Arquitetura Vernacular*. São Paulo, Elementos de apoio da disciplina “Conforto Ambiental I - Fundamentos”, FAU - USP, 2012.
- [63] FERNANDES, J. Manuel – *Geração Africana, Arquitectura e cidades em Angola e Moçambique 1925-1975*. Lisboa, Livros Horizonte, 2009.
- [64] CLARO, A. *et al.* – *Arquitetura Indígena*. Santa Catarina, Elementos de apoio da disciplina “Tecnologia da Edificação”, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- [65] PASSOS, I. C. da Silva – *Clima e Arquitetura Habitacional em Alagoas: Estratégias Bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos Índios e Pão de Açúcar*. Maceió, Tese de Mestrado, Universidade Federal de Alagoas, 2009.
- [66] LIVINGSTON, Morna. – *La Vivenda de Bambú y el Manglar de Guayaquil*. University of Tennessee, Instituto de Arquitectura Tropical, 2009. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/Bamboo%20Housing%20Guayaquil%20TRADUCIDO.pdf>
- [67] LABAKI, L.C.; KOWALTOWSKI, D.C. – *Bioclimatic and Vernacular Design in Urban Settlements of Brazil*. Building and Environment, Volume 33, nº 1, págs. 63-77, Elsevier Science, 1998.
- [68] CRAIN, Edward – *Historic Architecture in the Caribbean Islands*. Gainesville, University Press of Florida, 1994.
- [69] PROSKOURIAKOFF, Tatiana – *An Album of Maya Architecture*. Oklahoma ,University of Oklahoma Press, 1976.
- [70] STAGNO, Bruno. – *La Creatividad en el Techo Bioclimático Tropical*. Costa Rica, Instituto de Arquitectura Tropical, 2007. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/TECHO%20TROPICAL.pdf>
- [71] WANGSADINATA, W.; DJAJASUDARMA, T. – *Architectural Design Consideration for Modern Buildings in Indonesia*. Jakarta, Conference “Building Construction Technology for the Future: Construction Technology for Highrise & Intelligent Buildings”, 1995. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.wiratman.co.id/ximages/architecture.pdf>
- [72] OLIVER, Paul – *Encyclopedia of Vernacular Architecture of the World: Cultures and Habitat – Vol. II*. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.
- [73] PRIANTO, E. *et al.* – *Tropical-Humid Architecture in Natural Ventilation Efficient Point of View, A Reference of Traditional Architecture in Indonesia*. International Journal on Architectural Science, Volume 1, nº 2, págs. 80-95, 2000.

- [74] PANDJAITAN, Toga H.. – *Transformation of Building Form: Development of Traditional Dwelling of the Ngada, Central Flores Island*. Australia, University of Adelaide, s/d. (Consultado em 01/05/2012). <http://203.77.194.71:83/isvs-4-1/paper-dump/full-papers/28.pdf>
- [75] MANIOGLU, G.; YILMAZ, Z. – *Energy Efficient Design Strategies in the Hot Dry Area of Turkey*. Building and Environment, Volume 43, nº 7, págs. 1301-1309, Elsevier, 2008.
- [76] WORTH, Robert F. – *Yemen Finds Dreamland of Architecture*. New York, The New York Times, 2009. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.nytimes.com/2009/11/16/world/middleeast/16yemen.html>
- [77] BERGE, Bjorn. – *The Ecology of Building Materials*. (2º Edition). Oxford, Architectural Press, 2009.
- [78] REDDY, B.; JAGADISH, K. – *Embodied Energy of Common and Alternative Building Materials and Technologies*. Energy and Buildings, Volume 35, págs.129-137, Elsevier, 2003.
- [79] NICOLETTI, G. et al. – *Comparative Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Ceramic Versus Marble Tiles*. Journal of Cleaner Production, Volume 10, págs.283-296, Elsevier, 2003.
- [80] GOVERSE, T. et al. – *Comparative Life Cycle Assessment of Flooring Materials: Ceramic Versus Marble Tiles*. Journal Wood innovation in the residential construction sector: opportunities and constraints. Resources Conservation and Recycling, Volume 34, págs.53-74, Elsevier, 2010.
- [81] KHARE, L. – *Performance Evaluation of Bamboo Reinforced Concrete Beams*. Texas, Tese de Mestrado, University of Texas, 2005.
- [82] PEREIRA, V.; MARTINS, J. G. – *Reabilitação: Materiais e Técnicas Tradicionais de Construção*. Porto, UFP, 2005.
- [83] LOURENÇO, P.I. – *Construções em Terra*. Lisboa, Tese de Mestrado, Universidade Técnica de Lisboa, 2002.
- [84] STOUTER, Patti – *Shaping Buildings for the Humid Tropics: Cultures, Climate and Materials*. ASLA, 2008. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.greenhomebuilding.com/pdf/shapingbuildings1.pdf>
- [85] HEATHCOTE, K. A. – *Durability of Earthwall Buildings*. Construction and Building Materials, Volume 9, págs.185-189, Elsevier, 1995.
- [86] OGUNYE, F.O.; BOUSSABAIN, H. – *Diagnosis of Assessment Methods for Weatherability of Stabilized Compressed Soil Blocks*. Construction and Buildings Materials, Volume 16, págs.163-172, Elsevier, 2002.
- [87] MINKE, G. – *Building with Earth Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Basel, Birkhauser, 2006.
- [88] AHMED, Iftekhar – *Crisis of Natural Building Materials and Institutionalized Self-Help Housing: The Case of Grameen Bank in Bangladesh*. Habitat INTL, Volume 22, nº 4, págs. 355-374, Elsevier, 1998.
- [89] UAlg, FCT – *Madeira e seus Derivados*. Faro, Elementos de apoio da disciplina “Materiais de Construção”, Universidade do Algarve, 2007.
- [90] HYDE, Richard – *Climate Responsive Design: A Study of Buildings in Moderate and Hot Humid*. Londres, E & FN Spon, 2000.
- [91] HINDRICHS, D. U.; DANIELS, K. – *Plusminus 20°/40° latitude - Sustainable Building Design in Tropical and Subtropical Regions*. Londres, Axel Menges, 2007.

- [92] MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. – *Tecnologias Construtivas para a Sustentabilidade da Construção*. Porto, Edições Ecoply, 2006.
- [93] BRANDÃO, H.; MARTINS, A. – *A Varanda e suas Contribuições para a Sustentabilidade*. São Paulo, USP, s/d. (Consultado em 01/09/2012). <http://www.usp.br/nutau/CD/70>
- [94] GIVONI, Baruch – *Man, Climate and Architecture*. Londres, ed. Henry Cowan, 1969.
- [95] FRAMPTON, K. – *Towards a Critical Regionalism: Six Points for an Architecture of Resistance*. Londres, Pluto Press, 1983.
- [96] HAWKES, D. et al. – *The Selective Environment: an Approach to Environmentally Responsive Architecture*. Londres, Spon Press, 2002
- [97] KOENIGSBERGER, Otto et al. – *Manual of Tropical Housing and Building. Part 1: Climatic Design*, India, Orient Longmans, 1975.
- [98] MUKTADIR, M.A. – *Climatic Aspects of High Density Urban Housing in the Warm Humid Tropics with Particular Reference to Dacca*. Edimburgo, Tese de Doutorado, University of Edinburgh, 1975.